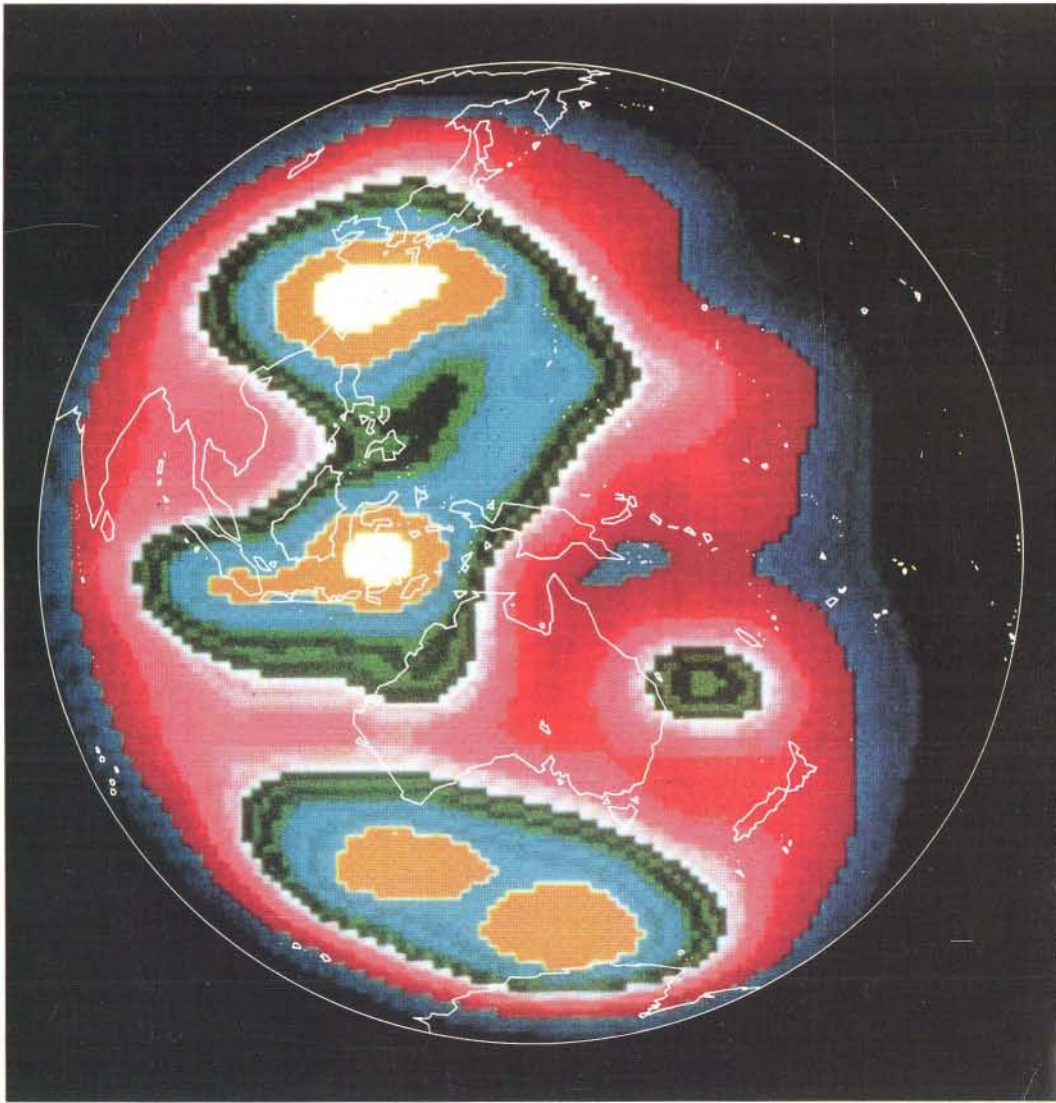


4 | 54^e jaargang

NATUUR '86 & TECHNIEK

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



COÖRDINATIE VAN BEWEGINGEN/URANUS/KALKGRASLANDEN/
ELEKTROCHEMISCHE ANALYSE/VINGERLIJSTEN/GAMMATELESCOPEN

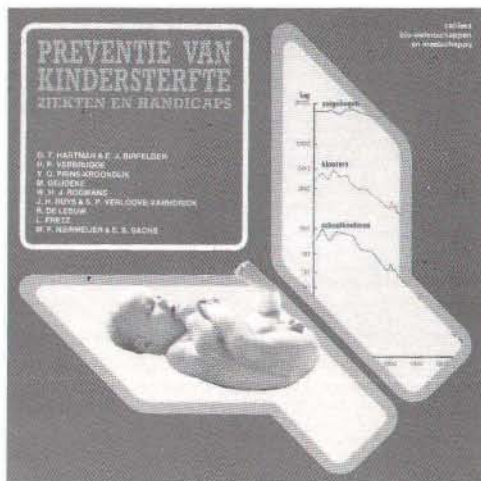
PREVENTIE VAN KINDERSTERFTE Ziekten en handicaps

De afgelopen eeuw is de kindersterfte in ons land spectaculair gedaald. Oorzaken: het toegenomen besef van hygiëne en nieuwe inzichten in de verzorging van kinderen. Ook de opkomst van de bio-medische wetenschap en de (jeugd)gezondheidszorg was van groot belang. Nu sterven de meeste kinderen door ongelukken in en om het huis; bij zuigelingen spelen aangeboren afwijkingen een rol.

Bij de zorg voor pasgeborenen is veel veranderd. Steeds meer onvoldragen kinderen kunnen in leven gehouden worden, maar zij zijn erg kwetsbaar. Preventieve maatregelen ten behoeve van de kwaliteit van dat leven zijn nodig. Dat roept nieuwe vragen op over de kwaliteit van leven en de grenzen van de zorg rond de geboorte.

Daarnaast is het tegenwoordig mogelijk om aangeboren afwijkingen al voor de geboorte op te sporen. Ouders van een kind waarbij al voor de geboorte ernstige afwijkingen zijn vastgesteld, staan voor het dilemma of de zwangerschap wel uitgedragen moet worden. De mogelijkheid al vroeg in levensprocessen in te grijpen schept de verplichting ook de gevolgen van deze handelingen ter discussie te stellen.

Zojuist verschenen:



Voor abonnees op de Cahiers Biowetenschappen en Maatschappij is dit nummer 4 van de 10e jaargang.
Abonnementsprijs (4 cahiers per jaar) f 32,50 of 620 F. Voor studenten en/of abonnees op Natuur en Techniek f 30, -

Inhoud en auteurs

Voorwoord

Kindersterfte in de 19e eeuw
G.T. Hartman & E.J. Birkfelder

Jeugdgezondheidszorg
H.P. Verbrugge

Een middag op het consulatiebureau
Y.O. Prins-Kroondijk

Het voorkomen van ongevallen
W.H.J. Rogmans

Wiegedood
M. Geudeke

Rond de geboorte
J.H. Ruys & S.P. Verloove-Vanhorick

Medisch-ethische problemen rond de geboorte
R. de Leeuw

Mag pasgeboren zwaar defect leven worden beëindigd?
L. Fretz

Voor de geboorte/voor de conceptie
M.F. Niermeijer & E.S. Sachs

of 570 F. Losse nummers f 8,50 of 160 F (excl. verzendkosten).
Verkrijgbaar bij: Natuur en Techniek -
Op de Thermen - Postbus 415 -
6200 AK Maastricht. - Tel. 043-254044.
Vanuit België: 00-31-43254044

NATUUR '86 & TECHNIEK

Losse nummers:
f 8,45 of 160 F.

natuurwetenschappelijk en technisch maandblad



Bij de omslag

De kleurencamera van de Giotto, die zulke fraaie beelden van de komeet Halley verzorgde, maakte deze opname van de Aarde. We zien wolkenvelden boven het zuidelijk halfrond van een afstand van ca. 21 miljoen kilometer. De camera is gevoelig voor helderheidsverschillen. Iedere kleur komt overeen met een bepaalde helderheid. De grootste helderheid wordt wit; geringere helderheden worden achtereenvolgens geel, lichtblauw, groen, enz.

(Foto: Max-Planck-Institut für Aeronomie).

Hoofdredacteur: Th.J.M. Martens.

Adj. hoofdredacteur: Dr. G.M.N. Verschuuren.

Redactie: Drs. H.E.A. Dassen, Drs. W.G.M. Köhler, Drs. T.J. Kortbeek.

Redactiesecretaresse: T. Habets-Older Juninck.

Redactiemedewerkers: A. de Kool, Drs. Chr. Titulaer, Dr. J. Willems.

Wetenschappelijke correspondenten: Ir. J.D. van der Baan, Dr. P.

Bentvelzen, Dr. W. Bijleveld, Dr. E. Dekker, Drs. C. Floor, Dr. L.A.M.

v.d. Heijden, Ir. F. Van Hulle, Dr. F.P. Israel, Drs. J.A. Jasperse,

Dr. D. De Keukeleire, Dr. F.W. van Leeuwen, Ir. T. Luyendijk,

P. Mombaerts, Dr. C.M.E. Otten, Ir. A.K.S. Polderman, Dr. J.F.M.

Post, R.J. Querido, Dr. A.F.J. v. Raan, Dr. A.R. Ritsema, Dr. M.

Sluysen, J.A.B. Verduijn, Prof.dr. J.T.F. Zimmerman.

Redactie Adviesraad: Prof. dr. W. J. van Doerenmaalen, Prof. dr. W.

Fiers, Prof. dr. J. H. Oort, Prof. dr. ir. A. Rörsch, Prof. dr. R. T. Van

de Walle, Prof. dr. F. Van Noten.

De Redactie Adviesraad heeft de taak de redactie van Natuur en Techniek in algemene zin te adviseren en draagt geen verantwoordelijkheid voor afzonderlijke artikelen.

Grafische vormgeving: H. Beurskens, W. Keulers-v.d. Heuvel, M. Verreijt.

Druk.: VALKENBURG offset, Echt (L.). Telefoon 04754-1223*.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland: Postbus 415, 6200 AK Maastricht. Tel.: 043-254044*.

Voor België: Tervurenlaan 32, 1040-Brussel. Tel.: 00-3143254044

EURO
ARTIKEL

Artikelen met nevenstaand vignet resulteren uit het EURO-artikelen project, waarin NATUUR EN TECHNIEK samenwerkt met ENDEAVOUR (GB), LA RECHERCHE (F), DIE UMSCHAU (D), SCIENZA E TECNICA (I), TECHNOLOGY IRELAND (EI) en PERISCOPIO TIS EPISTIMIS (GR), met de steun van het Directoraat-generaal Informatiemarkt en Innovatie van de Commissie van de Europese Gemeenschappen.



Gehele of gedeeltelijke overname van artikelen en illustraties in deze uitgave (ook voor publikaties in het buitenland) mag uitsluitend geschieden met schriftelijke toestemming van de uitgever en de auteur(s).

Een uitgave van

ISSN 0028-1093



Centrale uitgeverij en adviesbureau bv.

INHOUD

BEZIENSWAARDIG	X
AUTEURS	XI
COLUMN Stripheld	XI
HOOFDARTIKEL Gammastraling	239

SPIEREN SPANNEN SAMEN	240
------------------------------	-----

Coördinatie van bewegingen

C.C.A.M. Gielen en J.J. Denier van der Gon

Gecoördineerde bewegingen zijn meer dan louter spiercontracties. Zij vereisen een gecoördineerd aanspannen van veel spieren in een geëigende volgorde en met een adequate intensiteit en duur. Voor het begrijpen van de coördinatie van bewegingen zijn daarom niet zozeer de uitvoerders van de beweging, de spieren zelf, belangrijk, maar veeleer de opdrachtgever van de beweging, het centraal zenuwstelsel. Meer informatie hierover kan worden verkregen door bestudering van bewegingen en de hiermee gepaard gaande spieractiviteit.

URANUS	256
---------------	-----

Een mistige planeet

F.P. Israël

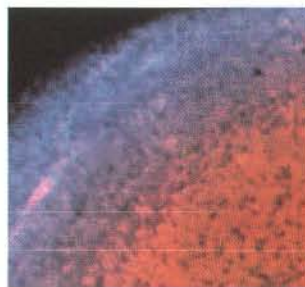
Tot eind januari van dit jaar was van de planeet Uranus niet veel meer bekend dan dat zij bestaat, tot de reuzenplaneten gerekend moet worden, vijf manen en negen dunne ringen heeft. Eind januari passeerde de Voyager 2 deze mysterieuze planeet. Een stroom doorgeseinde gegevens loste een paar mysteries op maar zette tegelijkertijd daar weer nieuwe voor in de plaats. Uranus blijkt in een blauwe nevel gehuld te zijn en veel meer manen te hebben.

KALKGRASLANDEN	264
-----------------------	-----

Biotoop herschapen

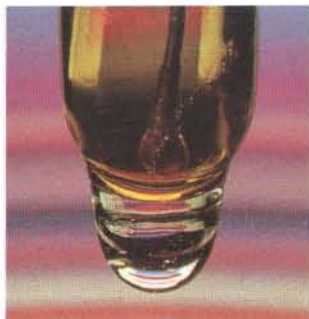
H.P.M. Hillegers

De kalkgraslanden, die her en der in Zuid-Limburg te vinden zijn, maken deel uit van een bedreigd biotoop. In de natuurlijke situatie is de grond droog en schraal. Extensief beheer werkte een grote soortenrijkdom in de hand. Nu dit biotoop te lijden heeft van een sterke teruggang in areaal en soortenrijkdom, moeten maatregelen ter restauratie genomen worden. Schapen spelen een belangrijke rol door selectief bepaalde planten te eten en zaden te verspreiden.



NATUUR '86 & TECHNIEK

april/54^e jaargang/1986



METEN MET SPANNING

Elektrochemische analyse

W.E. van der Linden

Met elektroden kunnen in een oplossing stroom, spanning, weerstand en lading worden gemeten. De gevonden waarden vertonen vaak een directe samenhang met de hoeveelheid en de aard van de opgeloste stoffen. De metingen kunnen dan gebruikt worden voor chemische analyses. Het bekendste voorbeeld is het SO₂-snuffelpalennet dat de zwaveldioxideconcentraties in de lucht meet. Voordelen zijn de eenvoudige meetwijzen en de zeer lage stromen die nog gemeten kunnen worden.

276



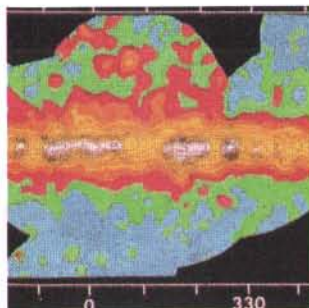
VINGERLIJSTEN

Uw lot in eigen hand

A. G. de Wilde

Handlezen en daardoor de toekomst voorspellen wordt al duizenden jaren beoefend. Deze voorspellingskunde blijkt niet geheel op losse schroeven te staan. Bestudering van de huidlijsten van handen en voeten heeft uitgewezen dat huidlijstpatronen erfelijk bepaald zijn, terwijl er ook de aanleg voor ziekten uit is af te lezen. Deze tak van wetenschap doet echter geen uitspraken over iemands toekomstige liefdeleven. In de nabije toekomst zullen huidlijsten van belang kunnen zijn bij het bevolkingsonderzoek naar bepaalde ziekten en bij het onderzoek van milieuvervuiling.

288



GAMMATELESCOPEN

Zeef voor zeldzame fotonen

G. Kiers

De dampkring is een buitengewoon vervelende hinderpaal voor astronomen. Ze houdt zoveel straling uit het heelal tegen dat satellieten moeten worden ingezet voor modern onderzoek. Een van de vormen van straling die niet door de dampkring komt is gammastraling. Omdat deze zich niet stoort aan lenzen of spiegels bevatten gammatelescopen geen klassieke optische systemen; wel tientallen snufjes om die straling toch op te vangen.

300

ACTUEEL

Giotto ontmoet Halley / Optische telescoop van 16 m / Kwik in hypofyse

314

BEZIENSWAARDIG

317

TEKST VAN TOEN

Het perpetuum mobile

322

NATUUR '86 & TECHNIEK

INFORMATIE OVER WETENSCHAP
EN SAMENLEVING

Op de Thermen
Postbus 415
6200 AK Maastricht



CHEMIE EN SAMENLEVING

Van kleurstof tot kunstmest

Ir. Leo Molenaar en ir. Peter Kooiman

De wisselwerking tussen wetenschap, chemische industrie en maatschappij, aan de hand van een historisch voorbeeld.

In vierkleurendruk

128 pagina's met 120 illustraties

Prijs: f 32,50 of 625 F

Voor abonnees: f 25,- of 495 F*

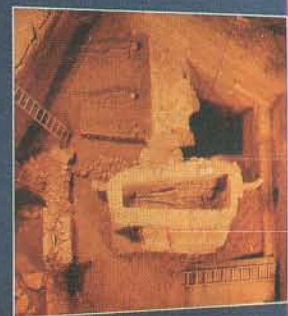
*Deze prijs is tevens geldig bij minimale afname van 20 exemplaren voor onderwijsdoeleinden

Extra: een Handleiding voor studie en onderwijs, met vragen en antwoorden (56 pag.).

Prijs: f 15,- of 295 F.



VONDSTEN UIT HET VERLEDEN



oudheidkundig bodemonderzoek

NATUUR & TECHNIEK

VONDSTEN UIT HET VERLEDEN

Oudheidkundig bodemonderzoek

Archeologisch Jaarboek 1986

Stichting voor de Nederlandse

Archeologie

Dit is het eerste archeologische jaarboek, over het recente werk van Nederlands-talige archeologen.

In vierkleurendruk

88 pagina's met ruim 100 illustraties

Prijs: f 17,50 of 345 F

Voor abonnees: f 15,- of 295 F

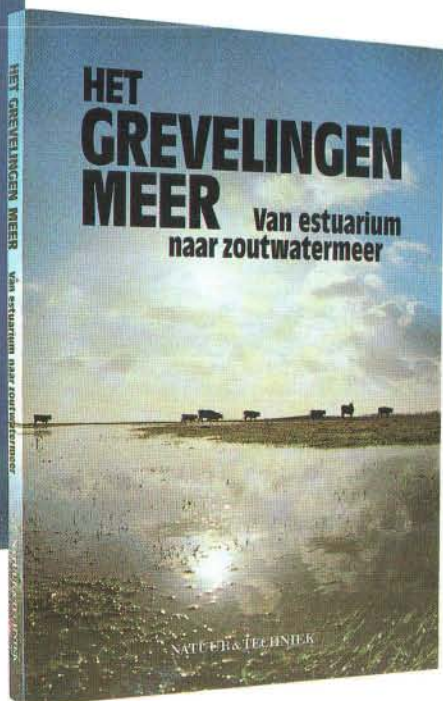
VOORJAAR 1986

3 premie boeken

voor abonnees van

**NATUUR
& TECHNIEK**

Kozen wij vorig jaar als premieboek de fraaie uitgave van Elspeth Huxley en Hugo van Lawick: DE LAATSTEN IN DE HOF VAN EDEN, dit voorjaar liggen er maar liefst drie premieboeken voor u klaar, die wij u tegen een speciale prijs kunnen aanbieden.



HET GREVELINGENMEER

Van estuarium tot zoutwatermeer

Dr. P.H. Nienhuis e.a.

Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek

De gevolgen voor plant en dier van het afsluiten van het Grevelingenmeer.

In vierkleurendruk

178 pagina's met ca. 200 illustraties

Prijs: f 27,50 of 545 F

Voor abonnees: f 22,50 of 445 F

CHEMIE EN SAMENLEVING is een geheel nieuwe uitgave. De beide andere boeken zijn thematische bundelingen van eerder in NATUUR EN TECHNIEK verschenen artikelen.

Bij VONDSTEN UIT HET VERLEDEN zijn een vijftal nieuwe hoofdstukken toegevoegd over zeer recent onderzoek, alsmede een algemene inleiding.

Als u nog niet zo lang abonnee bent, dan heeft u nu – voor wat de beide laatstgenoemde boeken betreft – de kans, per thema gebundelde, toonaangevende artikelen uit eerder verschenen nummers te verwerven.

Mocht u deze artikelen al in uw bezit hebben, dan kunt u er wellicht andere geïnteresseerden uit uw omgeving een genoeg mee doen. Ook zijn wij graag bereid boeken naar een ander door u op te geven adres te zenden.

Op de volgende pagina's in dit nummer geven wij u meer informatie over deze boeken.

Deze aanbieding is geldig tot 1 augustus 1986. Alle prijzen zijn exclusief verzendkosten.

NATUUR '86 & TECHNIEK

INFORMATIE OVER WETENSCHAP
EN SAMENLEVING



Ir. Leo Molenaar en Ir. Peter Kooiman

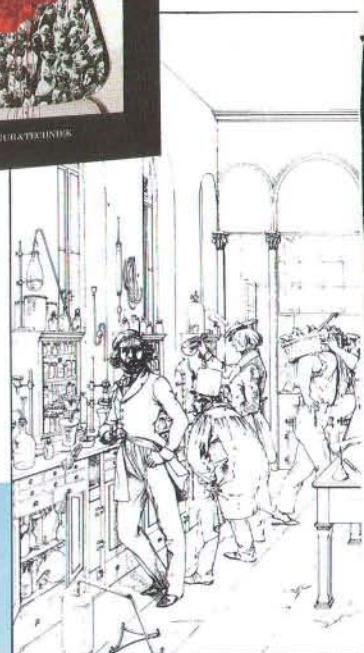
CHEMIE EN SAMENLEVING

Van kleurstof tot kunstmest

Ons dagelijks leven is vol toepassingen van de chemische wetenschap. Kunststoffen, synthetische geneesmiddelen en kunstmest bijvoorbeeld zijn niet meer uit onze samenleving weg te denken. Maar ook de politieke en economische gevolgen van die ontwikkelingen beïnvloeden ons bestaan. Dat is niet van de ene op de andere dag gebeurd. Als voorbeeld hiervan hebben de auteurs de geschiedenis van de kleurstoffenindustrie gekozen. Na een toevallig succes ontwikkelde deze zich eerst in Engeland en later in Duitsland, van kleinschalige bedrijven waarin op weinig systematische wijze gezocht werd naar mogelijkheden om kleurstoffen te synthetiseren, tot een grootscheepse chemische industrie, waarin planmatig nieuwe producten worden ontwikkeld en geproduceerd.

Een apart verhaal daarin is het onderzoek naar de stikstofbinding, dat leidt naar de ammoniak-synthese, met als belangrijke toepassing kunstmest. De kleurstoffenindustrie had de weg daartoe voorbereid.

De chemische industrie van vandaag levert ons een ongekende hoeveelheid van producten.

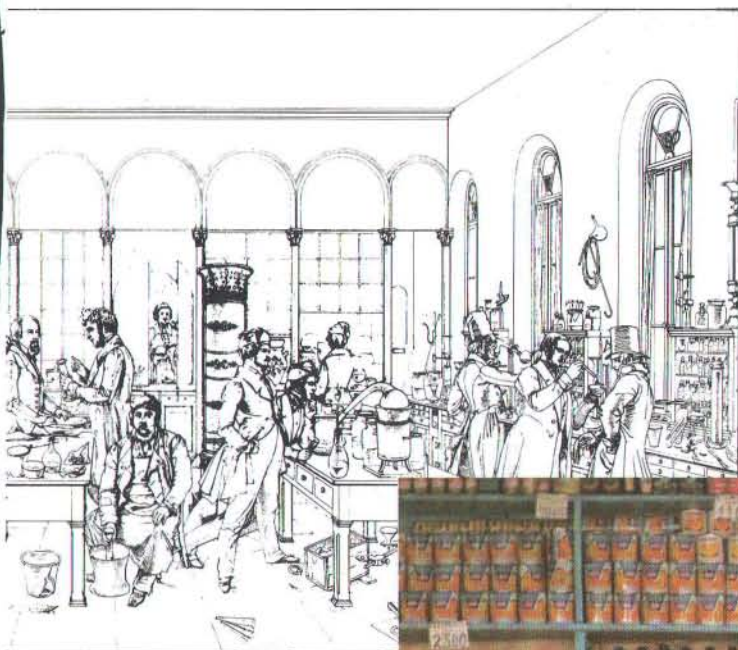


Sommige zijn van levensbelang, andere fataal voor de mens. Juist daardoor wordt de zwaarte van de relatie tussen chemische wetenschap en samenleving duidelijk. Deze relatie is de rode draad in dit boek dat wetenschappelijke gedegenheid combineert met

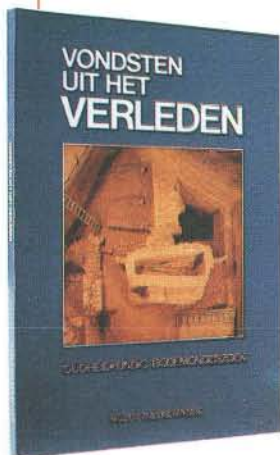
vlotte leesbaarheid. Het is ruim en kleurig geïllustreerd met actueel en historisch materiaal, curieuze archiefopnamen zowel als duidelijke schema's en tekeningen. Daardoor, maar vooral ook als voorbeeld van de relatie tussen wetenschap en samenleving,

past het uitstekend in het fonds van NATUUR EN TECHNIEK.

Voor het onderwijs is tevens een Handleiding met vragen en antwoorden beschikbaar. De prijs hiervan is f 15,- of 295 F.



**CHEMIE EN
SAMENLEVING**
Van kleurstof tot kunstmest
ISBN 90 70157 50 0
128 pagina's met 120
illustraties.
In vierkleurendruk.



Archeologisch Jaarboek 1986

VONDSTEN UIT HET VERLEDEN

Oudheidkundig bodemonderzoek

Een uitgave in samenwerking met de Stichting voor de Nederlandse Archeologie.

Voor velen is het werk van archeologen een wat geheimzinnige bezigheid: graven in de grond, op zoek naar het verleden. Maar het is vooral een intrigerende bezigheid. Bij opgravingen komt veel aan het licht: oude voorwerpen of fragmenten daarvan, resten van bouwwerken, skeletten en andere sporen – stukjes van een legpuzzel die ons na eindeloos combineren een beeld geven van vroegere culturen.

VONDSTEN UIT HET VERLEDEN gaat over het werk van Nederlandstalige archeologen in diverse landen. Werk, waarvoor veel belangstelling bestaat. In samenwerking met de Stichting voor de Nederlandse Archeolo-

gie wil NATUUR EN TECHNIEK jaarlijks een nieuwe bundel VONDSTEN UIT HET VERLEDEN publiceren. Deze eerste bundel omvat vier hoofdstukken die het afgelopen jaar als artikel in NATUUR EN TECHNIEK zijn verschenen:

De geschiedenis van de archeologie, Toen het weer droog was (onderzoek in Kootwijkerzand), *Baksels en misbaksels* (middeleeuwse aardewerkbakkerijen in Utrecht) en *Oud zout* (prehistorische zoutwinning en handel). Daarnaast doet een aantal korte hoofdstukken verslag van zeer recent onderzoek, in *Drouwen*, *Dordrecht*, *Voerendaal*, *Bourtange* en op *Sint-Eustatius*.

VONDSTEN UIT HET VERLEDEN

Oudheidkundig bodemonderzoek

ISBN 90 70157 64 0

88 pagina's en meer dan 100 illustraties.

In vierkleurendruk.



Dr. P.H. Nienhuis e.a.
Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek

Een argeloze vakantieganger, rijdend over de Grevelingendam of de Brouwersdam, zal nauwelijks vermoeden wat zich sinds ongeveer 15 jaar in het naastliggende water van het Grevelingenmeer aan opzienbarende ontwikkelingen heeft afgespeeld. De dammen, die ons nu tot een vergezicht over het schitterende wijde waterlandschap in staat stellen, hebben in het milieu een omwenteling veroorzaakt waarvan bij de aanleg de oecologische gevolgen slecht te voorspellen waren. De afsluiting van de zee deed eb en vloed verdwijnen. Wie wist hoe de waterkwaliteit zich zou ontwikkelen? Hoe zouden de vissen, de weekdieren, de vogels





HET GREVELINGENMEER

Van estuarium naar zoutwatermeer

ISBN 90 70157 66 7 (2e druk)

178 pagina's met ca. 200 illustraties, foto's, kaarten en schema's.

In vierkleurendruk.



HET GREVELINGENMEER

Van estuarium naar zoutwatermeer

en het plantaardig leven de veranderingen doorstaan? Wat zouden de gevolgen zijn voor visserij en recreatie?

Om op deze vragen een antwoord te krijgen moesten de ontwikkelingen in het meer nauwlettend in de gaten worden gehouden. Systematisch werden gegevens verzameld en metingen gedaan, die in de loop der jaren een beeld gaven van wat er in het meer gebeurde. Op basis van de onderzoeksresultaten konden adviezen over het beheer wor-

den gegeven. Een van de belangrijkste adviezen aan de regering was het meer zout te laten. Veel van het oecologisch onderzoek is verricht door het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek te Yerseke, samen met andere instanties. De resultaten van dit onderzoek zijn op overzichtelijke wijze bijeengebracht in deze bundeling van artikelen uit NATUUR EN TECHNIEK, onder de titel:

HET GREVELINGENMEER

Van estuarium naar zoutwatermeer

Bestelling en betaling

Bij bestelling van de boeken naar uw keuze kunt u de in dit nummer gevoegde antwoordkaart gebruiken. Wij zorgen dan dat de boeken zo spoedig mogelijk naar het door u opgegeven adres verzonden worden. Ter betaling van het verschuldigde bedrag en de verzendkosten ontvangt u een acceptgiroformulier.

Reizend planetarium

Planetaria zijn niet dik gezaaid in Nederland en België. De meeste mensen moeten ervoor op reis. Sinds kort is er echter een planetarium dat naar u toe komt. Het is een fors formaat iglo waarin een dertigtal niet te grote mensen plaats kunnen nemen. De projectie van de sterrenhemel gebeurt op de binnenkant van de koepel.

De ondernemers achter het APOLLO Reizend Planetarium richten zich vooral op scholen. Ze bieden een drietal lesprogramma's: 'Wat zien we vanavond?', een introductie tot de sterrenhemel en er zijn speciale programma's over de komeet van Halley en over het zonnestelsel. Op verzoek zijn ook speciale programma's samen te stellen, die niet duurder zijn dan de bestaande.

Inlichtingen bij APOLLO Reizend Planetarium, Gooimeerstraat 28, 8226 JH Lelystad, ☎ 03200-55551.

Geheel onder: Een groepje schoolkinderen gaat het planetarium binnen voor een voorstelling.

Hieronder: Een kijkje in het interieur.



SRON

UNIVERSITEIT
UTRECHT

PUBLIEKSSYMPOSIUM

vrijdag 9 en zaterdag 10 mei 1986

Jaarbeurs Utrecht,
Gehoorzaal Julianahal

VEROVERING VAN DE RUIMTE

een unieke gelegenheid om
topwetenschappers uit binnen- en
buitenland over hun vakgebied te
horen spreken o.a.

prof. Dr. J.H. Oort
DE EERSTE RESULTATEN VAN DE HALLEY
MISSIE GIOTTO

Wubbo Ockels
MIJN EERSTE RUIMTEREIS

Prof. T. Owen
DE SPEURTOCHT NAAR BUITENAARDS
LEVEN

VERWACHTINGEN ROND DE HUBBLE
RUIMTE TELESCOOP

H.S. Wolff
DE KOLONISATIE VAN DE RUIMTE

DE RUIMTERACE TUSSEN DE VS EN
DE USSR
IETS UIT NIETS:
HET ONTSTAAN VAN HET HEELAL
HET EINDSTATION: WITTE DWERGEN,
ZWARTE GATEN EN NEUTRONEN STERREN

Georganiseerd door de Stichting
Ruimteonderzoek Nederland (SRON) en de
Rijksuniversiteit Utrecht naar aanleiding
van het 350 jarig bestaan van de
Rijksuniversiteit Utrecht.
Tegelijk met de Manifestatie Mens en
Wetenschap en Space 86.

Toegang: op vertoon van kaartje
voor Mens en Wetenschap.
Kaartverkoop: kassa Julianahal.

**Informatie en uitgebreid
programma:**
Stichting 350 jaar
Rijksuniversiteit Utrecht,
Heidelberglaan 8,
3584 CS Utrecht,
Tel.: 030-53 28 40/53 28 50.

Dr. C.C.A.M. Gielen ('Coördinatie van bewegingen') is op 18 december 1952 in Breda geboren. Van 1971 tot 1976 studeerde hij experimentele natuurkunde in Nijmegen, waar hij in 1980 promoveerde op een elektrofysiologisch hersenonderzoek. Sindsdien verricht hij in Utrecht onderzoek naar de motorische functies bij de mens.

Prof. dr. ir. J.J. Denier van der Gon ('Coördinatie van bewegingen') is op 18 februari 1928 geboren. Hij studeerde van 1945 tot 1951 natuurkunde aan de TH in Delft. Na zijn studie trad hij in dienst van de afdeling Medische Fysica van de Universiteit van Amsterdam. Sinds 1966 is hij hoogleraar in Utrecht met als leeropdracht 'Fysica van de mens' ten behoeve van het onderwijs in de geneeskunde.

Dr. F.P. Israël ('Uranus') werd op 31 december 1946 in Delft geboren. Hij studeerde sterrenkunde en natuurkunde aan de Rijksuniversiteit Leiden van 1965 tot 1972, waar hij in 1976 promoveerde. Hij was wetenschappelijk medewerker aan de RU Leiden van 1972 tot 1976. Na een verblijf aan het California Institute of Technology te Pasadena en ESTEC in Noordwijk is hij weer aan de Leidse universiteit verbonden.

Drs. H.P.M. Hillegers ('Kalkgraslanden') is op 24 maart 1940 in Meerssen geboren. Hij studeerde biologie aan de Rijksuniversiteit Groningen van 1964 tot 1969. Daarna was hij een tijd lang werkzaam als leraar. Momenteel werkt hij aan een promotie-onderzoek naar de vegetatiekunde van voor Limburg typische terreinen.

Prof. dr. W.E. van der Linden ('Elektrochemische analyse') is op 27 augustus 1939 in Oosthuizen (NH) geboren. Van 1957 tot 1963 studeerde hij scheikunde aan de Universiteit van Amsterdam. Hij promoveerde daar in 1966 op het proefschrift 'Fotometrische bepalingen van titaan'. Sinds 1980 is hij hoogleraar chemische analyse aan de TH Twente.

Prof. dr. A.G. de Wilde ('Vingerlijsten') is op 14 september 1925 in Dordrecht geboren. Hij studeerde geneeskunde in Leiden van 1945 tot 1953. Al tijdens zijn studie trad hij in dienst van het laboratorium voor anatomie en embryologie waar hij een promotie-onderzoek deed naar de overerving van het huidlijstenpatroon. Van 1963 tot 1985 was hij hoogleraar in Groningen.

Drs. G. Kiers ('Gammatelescopen') is op 24 mei 1956 in Meppel geboren. Hij studeerde natuurkunde en sterrenkunde aan de Rijksuniversiteit Groningen van 1974 tot 1982. Daarna werkte hij bij het Laboratorium voor Ruimte-onderzoek in Leiden aan de bouw van een gammatelescoop. Sinds kort werkt hij bij uitgeverij Reidel in Dordrecht.

Stripheld

De op een na hoogste baas van de Nederlandse wetenschap is een tevreden mens. Dat zij hem gegund, want hij is ook een aardige man. Hij is vooral tevreden met zichzelf, om niet ronduit te zeggen dat hij zichzelf bewondert. In een recent artikel beschrijft hij hoe – in de loop van vele kabinetperiodes, maar, al vermeldt hij dat niet nadrukkelijk, wel steeds onder zijn leiding – de universiteit is verbeterd.

Vroeger was het allemaal maar niks aan de universiteiten en hogescholen. Bijna de helft van de mensen die aan een studie begon maakte die niet af. Wie zijn studie wel afmaakte deed daar gemiddeld veel, soms zeer veel langer over dan de officiële studieduur. En duur dat de universiteit was, dat houd je niet voor mogelijk.

Nu is dat allemaal veel beter. Er komen veel meer studenten door, ze houden zich behoorlijk aan hun studieprogramma, en het kost allemaal veel minder. Dit alles in verband met het ondanks de soms wat slome besluitvorming (de WWO-'80 is in 1986 echt ingevoerd, de twee-fasenstructuur is het produkt van vijftien jaar noeste ambtelijke arbeid) kordate overheidsingrijpen. Niet minder dan vier revolutionaire maatregelen hebben dat volgens de directeur-generaal zelf zo succesrijke resultaat begeleid.

Ten eerste de twee-fasenstructuur, ten tweede de operatie taakverdeling en concentratie (TVC), ten derde de voorwaardelijke financiering en ten slotte de sanering van de rangenstructuur van het wetenschappelijke personeel. We zien een sterk bekorte studieduur, een veel hogere produktie van de wetenschap, een flinke ontwikkeling van het contractonderzoek en een sterke daling van de kosten.

Of er een oorzakelijk verband is durft de auteur overigens niet te zeggen. De studieduur is bekort vóór de twee-fasenstructuur, constateert hij zelf, en ik vraag me af hoe de genoemde maatregelen zouden kunnen leiden tot meer contractonderzoek. Dat zou wel eens een gevolg kunnen zijn van een vijfde en niet genoemde maatregel, nl. ingrijpende bezuinigingen, en de lagere kosten zouden ook wel eens per decreet tevoren kunnen zijn vastgelegd en de rest hebben gestuurd, in plaats van het resultaat te zijn.

Maar goed, dat zet geen domper op de tevredenheid van de auteur, en hij geeft aan dat de tijd van overheidsingrijpen nu voorbij is. De universiteiten moeten het nu verder zelf maar in alle vrijheid uitzoeken aan de hand van een nieuwe richting, aangegeven in de nota Hoger onderwijs, autonomie en kwaliteit. Voortaan zullen de instellingen zelf ervoor moeten zorgen dat ze aan hoge kwaliteitseisen voldoen door te bieden wat studenten en bedrijfsleven vragen en door grote aantallen publicaties. Dat uiteraard binnen het gegeven budget. Dat is zo vanzelfsprekend, dat de directeur-generaal het maar niet vermeldt.

Maar dat levert wel op, dat de universiteiten voortaan worden vrij gelaten om zelf het touw te slaan waarmee ze zullen worden opgehangen: het is niet meer het departement dat vaststelt welke mensen eruit zullen gaan, welke studierichtingen mogen blijven bestaan en welke zullen worden opgeheven, het is voortaan de vrijheid van de universiteiten dat zelf te bepalen. Nog steeds dik tevreden constateert de topambtenaar dat hier sprake is van iets zeer ongebruikelijks in de sfeer van onderwijs en overheid: iedereen wordt nu zorgvuldig tot concurrent gemaakt van ieder ander, iedereen moet op zijn tenen blijven lopen, voortdurend op zijn qui vive zijn dat er niet een ander met een goed idee aan de haal gaat en zorgen voor een groot aantal succesrijke studenten. Hij citeert een organisatie-deskundige die na lezing van de nota waarin al dit fraais staat opmerkte: "Ik weet eigenlijk helemaal niet of ik graag in dat wetenschappelijk onderwijs zou willen werken." Hetgeen met instemming wordt begroet door de baas van een departement dat vijftien jaar werkt aan een twee-fasenstructuur en erin slaagt vier maanden voordat die tweede fase in werking moet treden, een meerderheid in de Tweede Kamer te vinden voor een besluit dat de hele financiering van die tweede fase op losse schroeven zet.

Het is opvallend dat de directeur-generaal uitsluitend spreekt in getallen: aantallen studenten, percentages afvallers, kosten van onderwijs, aantallen publikaties, maanden studieduur, opbrengsten van contractonderzoek (in guldens). Ik heb eens een directeur van een krantenbedrijf horen zeggen: "Als ze vannacht de hele zetterij en drukkerij weghalen en vervangen door een schoensmeerfabriek werk ik morgen gewoon door en ik zal het verschil

niet merken." De hoogste ambtelijke wetenschapsbaas van Nederland praat op een manier over de universiteiten alsof hij er niets van zou merken als die op een nacht veranderden in schoensmeerfabrieken.

De directeur-generaal doet denken aan Asuranceturix, de bard in de stripverhalen van Asterix. De meningen over diens talenten zijn ook verdeeld. Hij zelf ziet zich als een genie, alle anderen denken daar anders over.

Want de effecten van zo'n benadering mogen dan — wellicht, we moeten dat allemaal nog te zien krijgen — in termen van statistische efficiency zeer gunstig zijn, voor de ontwikkeling van de wetenschap, voor de ontwikkeling van de cultuur, de samenleving en de economie, zijn ze zonder meer desastreus. Natuurlijk, ook het oude systeem leverde kneusjes af, maar het is een illusie dat een als strak keurslijf opgebouwd vierjarig studieprogramma iemand tot onderzoeker kan vormen. Het is een illusie dat degenen die na die vier jaar assistent-onderzoeker in opleiding worden de dragers kunnen zijn van geavanceerde onderzoeksprogramma's. Veel van hun werk zal op kandidaatsniveau liggen, een enkeling zal het niveau van het afstudeeronderzoek halen. Het is een illusie dat contractonderzoek zou leiden tot meer aanpassing van de programma's aan wat de samenleving nodig heeft: het leidt tot het richten van de programma's op op korte termijn verkoopbare resultaten. In een recent TNO-symposium waren TNO-directeur prof. ir. W. Koumans, dr. C. le Pair van de Stichting Technische Wetenschappen, dr. J. Rosenberg van de Rijksuniversiteit Utrecht en dr. K. Teer van Philips het over één ding hartgrondig eens: het is de functie van universiteiten fundamenteel en vrij onderzoek te doen, en beslist niet om zich te concentreren op korte-termijnproblemen. Het is een illusie te denken dat de dwang tot publiceren van halfdoordachte resultaten vergroting van efficiency inhoudt. Het is een illusie dat een land bij sterk bij andere landen achterblijvende bestedingen (al bezuinigend dus) zou kunnen blijven als het de onderzoekers maar genoeg uitperst. Het is een illusie dat belangrijke bedrijven kunnen worden aangetrokken met aantrekkelijke premies alleen; ook die zoeken kwaliteit, geen financiële statistieken.

A. de Kool

Gammastraling

Dat sterrenkunde alles met fysica te maken heeft zal iedereen duidelijk zijn. Niet alleen vallen de opleidingen voor een groot deel samen, de natuurkunde maakt uitbundig gebruik van resultaten van de sterrenkunde en sterrenkunde zonder natuurkundige ondergrond is nauwelijks denkbaar. Toch is sterrenkunde een soort binnenstebuiten gedraaide fysica. Probeert de fysicus in zijn laboratorium aan de hand van de theorie omstandigheden te scheppen waaronder bepaalde verschijnselen zich zouden moeten voordoen, voor de sterrenkunde is dat laboratorium het onderzoeksobject. Hij kan waarnemingen doen met aan de natuurkunde ontleende methoden en apparaten, dan verschijnselen waarnemen, maar zijn doel is niet zozeer het meten van die verschijnselen, als wel een reconstructie van de omstandigheden in het onderzoeksobject aan de hand van de verschijnselen: als die of die verschijnselen zich daar of daar voordoen, dan kan het nauwelijks anders of het ziet er daar zus en zo uit.

Daarbij wordt de sterrenkunde meer dan enige andere wetenschap bepaald door experimentele beperkingen. In elke wetenschap hangt het resultaat af van de gevolgde methode, daarin onderscheidt de sterrenkunde zich niet. Maar wie gewone aardse verschijnselen bestudeert kan altijd nog eens zien of er niet een andere methode is, hij kan het onderzoeksobject wat veranderen of de laboratoriumopstelling. Dat is bij de sterrenkunde niet of slechts beperkt mogelijk.

Aan het onderzoeksobject is helemaal niets te doen. Hij kan dat kiezen, maar dan is de onderzoeker uitgepraat. Het is niet mogelijk het eens aan een wat hogere belasting te onderwerpen of er een energierijker protonenbundel op los te laten.

De onderzoeksmethoden kan men wel variëren: men kan hetzelfde object bestuderen bij zichtbaar licht, in het radiogebied, in het infrarood gebied, in het röntgengebied en, zo blijkt in het artikel van G. Kiers op pag. 300, tegenwoordig ook met toenemend succes in het grote gebied van de gammastraling.

In beginsel is het mogelijk verschijnselen aan de sterrenhemel preciezer te bestuderen door combinatie van gegevens uit verschillende gebieden. In de praktijk stuit men daarbij vaak op een probleem: dat van de complexiteit. Soms zijn meer kwalitatieve verklaringen voor waarnemingen nog wel te geven in de zin van: 'als we deze gang van zaken in het object veronderstellen geeft die een verklaring voor het waarnemen van straling in die en die gebieden'. Maar de wetenschap eist meer, nl. een verklaring hoe het komt dat bepaalde hoeveelheden in een golflengtegebied worden waargenomen, een kwantitatieve verklaring.

Zodra men serieus daarnaar op zoek gaat, kwantitatieve modellen wil gaan opstellen, blijkt vaak dat de computer- en vooral de programmeercapaciteit onvoldoende is. Het is aardig te moeten constateren dat de verzuchting waarmee het artikel van C.C.A.M. Gielen en J.J. Denier van der Gon (pag. 240) eindigt, ook voor de sterrenkunde van toepassing is: "(...) een complex systeem dat, met behulp van moderne computermodellen, wel begrepen, maar nog niet in detail verklaard kan worden. De praktijk is nog veel complexer."



SPIEREN SPANNEN SAMEN

Coördinatie van bewegingen

Gecoördineerde bewegingen zijn meer dan louter spiercontracties. Zij vereisen een op elkaar afgestemd aanspannen van veel spieren in een geëigende volgorde en met een adequate intensiteit en duur. Voor het begrijpen van de coördinatie van bewegingen zijn daarom niet zozeer de uitvoerders van de beweging, de spieren zelf, belangrijk, maar veeleer de opdrachtgever van de beweging, het centraal zenuwstelsel. Meer informatie hierover kan worden verkregen door bestudering van die bewegingen en de hiermee gepaard gaande spieractiviteit.



Teneinde prestaties van topsporters te optimaliseren, wordt onderzoek verricht. Bij het startschot schiet de sprinter uit de blokken; even later bevat de computer een schat aan informatie, klaar voor analyse en potentiële verbetering van top-prestaties.

C.C.A.M. Gielen
J.J. Denier van der Gon
*Fysisch Laboratorium
Rijksuniversiteit Utrecht*

Het centrale zenuwstelsel is een systeem, dat enorme hoeveelheden informatie ontvangt, verwerkt en afgeeft, waardoor het organisme adequaat op zijn omgeving kan regeren en zodoende zijn overlevingskansen vergroot. Het zenuwstelsel van de mens telt ca. 10^{11} cellen, die vrijwel allemaal in verbinding staan met een groot aantal andere cellen. Eén van de functies van dit ongelooflijk complexe netwerk is het sturen en coördineren van bewegingen.

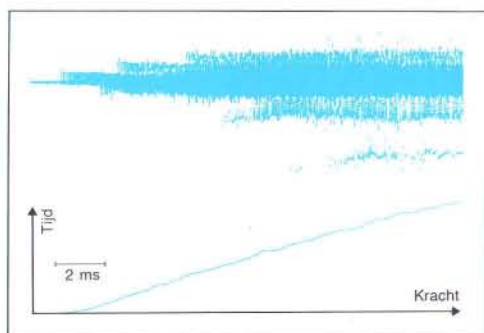
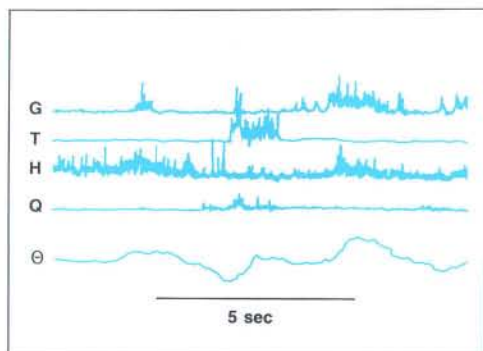
Om inzicht te verkrijgen in de organisatie van dat deel van het zenuwstelsel dat deze motorische functie verzorgt, wordt er veel onderzoek gedaan bijvoorbeeld op het gebied van de wijze waarop bewegingen worden uitgevoerd, de mate van betrokkenheid van de verschillende spieren en de manier waarop spiercontracties tot stand komen.

Door een tweetal elektrodes op de huid boven een spier te plakken kan de elektrische ac-

tiviteit, die de spieractiviteit begeleidt, worden vastgelegd. Signalen, zoals in figuur 1 weergegeven, kunnen hieruit worden afgeleid. Deze elektrische activiteit (het zogenaamde Electro MyoGram of EMG) ontstaat doordat prikkels vanuit het ruggemerg door zenuwvezels naar de spier worden geleid en de spiervezels activeren. Het EMG is een maat voor de activatie van een spier en vertelt iets over de door de spier geleverde kracht.

Wil men nog gedetailleerder werken, dan is het ook mogelijk om heel fijne naald- of draadelektrodes in een spier in te brengen en de elektrische activiteit van een beperkt aantal spiervezels te registreren, namelijk van die vezels, die in de buurt liggen van de punt van de elektrode. Figuur 2 toont een dergelijke registratie. Wat opvalt is dat elke spiervezel slechts boven een voor die vezel karakteristiek kracht-niveau van de spier actief is. Door meer of

Onder: Fig. 1. Dit EMG is gemeten met elektroden op de huid boven spieren in de kuit (G), scheenbeen (T), bovenbeen (voor: Q, achter: H). De proefpersoon heeft opdracht stil te staan. Het signaal Θ geeft aan dat de beenspieren geactiveerd worden om de romp rechtop te houden.



Geheel links onder: Fig. 2. De activiteit van spiervezels (boven) is gemeten met een dunne ($25 \mu\text{m}$) draad in een spier. Onder staat de uitgeoefende kracht als functie van de tijd. Als een spiervezel wordt geactiveerd, uit zich dat in een kortdurende (ongeveer 1 milliseconde) spannings-



minder spiervezels te activeren of door de activiteit van een reeds actieve spiervezel te variëren, kan spierkracht worden geregeld. Aangezien spiervezels worden geactiveerd door zenuwcellen, toont figuur 2 een belangrijk principe in het zenuwstelsel, namelijk dat intensiteiten in het zenuwstelsel vaak zijn gecorreleerd aan het *aantal* cellen dat actief is.

Bewegingsonderzoek door analyse van registraties van bewegingen is al een oude methode waaraan nogal wat handwerk te pas kwam. Dit geldt met name voor een veel toegepaste methode waarbij markeringen op het lichaam werden aangebracht en foto's werden gemaakt met stroboscopische belichting. De posities van de markeringen op de foto's werden dan opgemeten. Tegenwoordig wordt veel gebruik gemaakt van reflectors en 'light emitting diodes' (LED's), die op een aantal platen op het lichaam worden bevestigd. Met be-

hulp van speciale camera's en gespecialiseerde elektronica kunnen de x-, y- en z-coördinaten van deze reflectors of LED's een groot aantal malen per seconde worden gemeten en in computers worden opgeslagen. De zo verkregen coördinaten worden vervolgens geanalyseerd om specifieke details van de bewegingen nader te bestuderen.

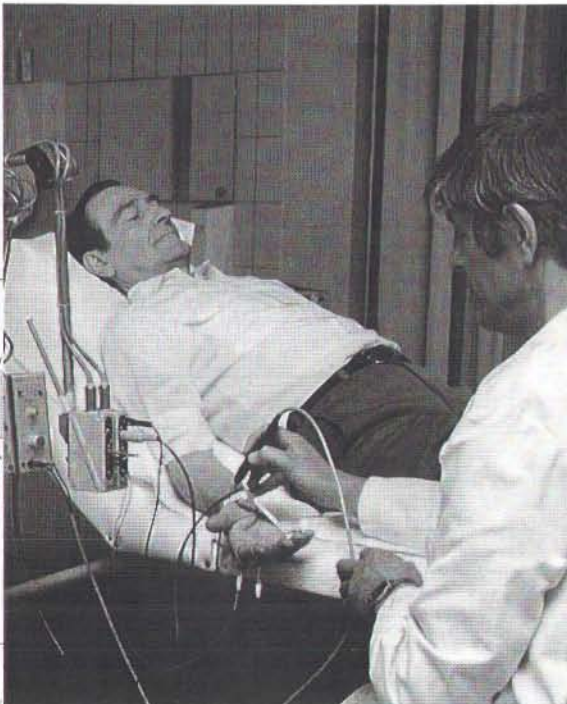
In de volgende paragrafen zal vanuit verschillende invalshoeken worden ingegaan op de coördinatie van bewegingen en de motorische functie van het zenuwstelsel.

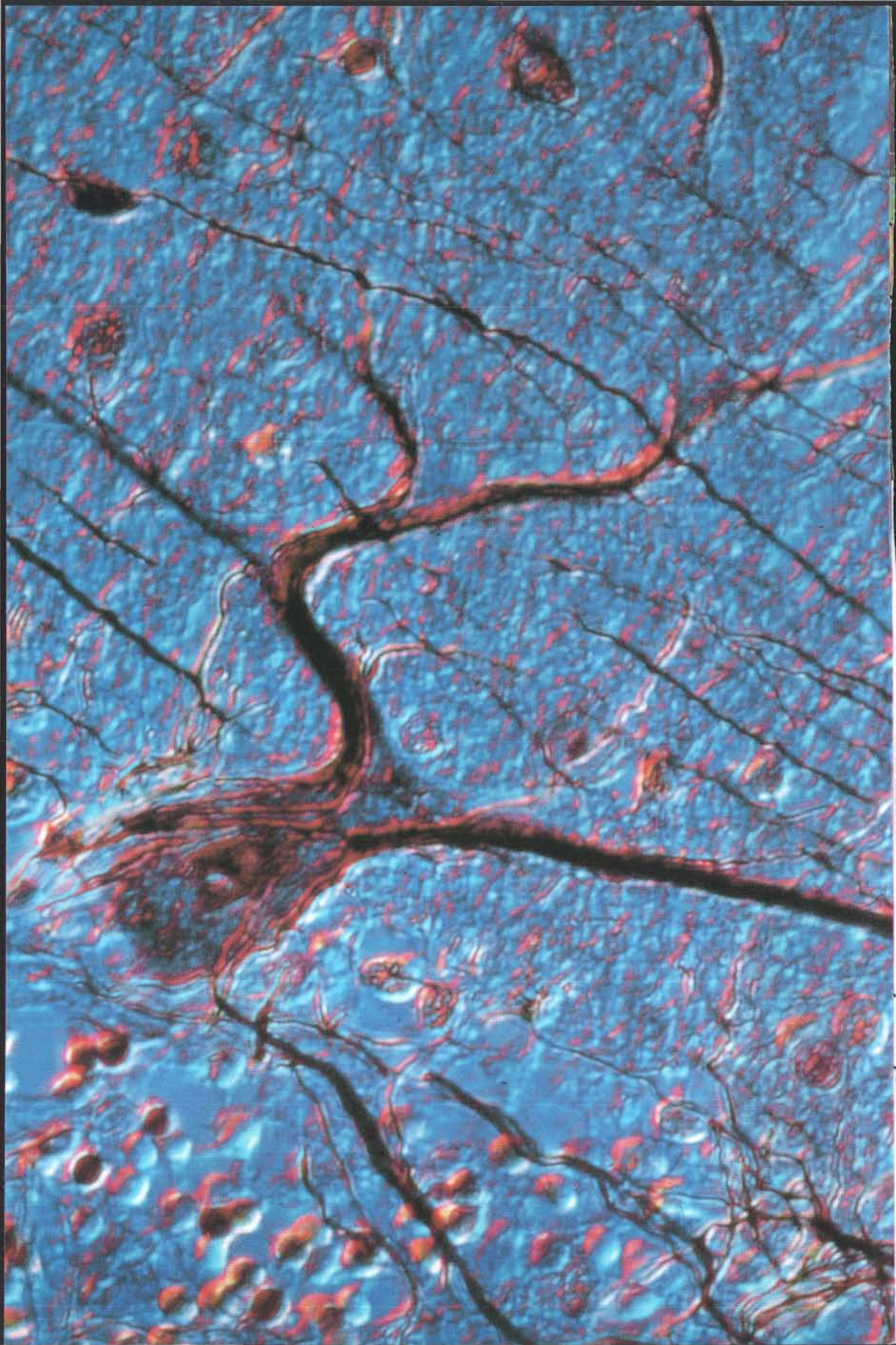
Interne representatie

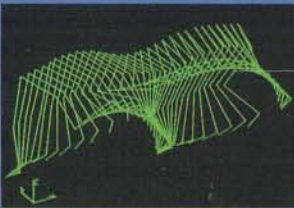
Doelgerichte, willekeurige bewegingen worden geïnitieerd vanuit de zogenaamde interne representatie. Hieronder verstaat men de informatie waarover het zenuwstelsel beschikt ten aanzien van de omgeving en ten aanzien van de positie en houding van het lichaam ten opzichte van deze omgeving. De interne representatie wordt opgebouwd met informatie, die wordt verkregen door zintuigen als oog, oor en evenwichtsorgaan en door sensoren in spieren en gewrichten. Mogelijk wel de belangrijkste bijdrage levert het oog. Deze visuele informatie wordt verkregen door met de ogen voortdurend en actief rond te kijken. Het motorisch systeem en het sensorisch systeem werken hier in hoge mate geïntegreerd samen: doelgerichte bewegingen (motorisch systeem) als het pakken van een potlood, kunnen pas worden gemaakt nadat door het visueel systeem (sensorisch systeem) is vastgesteld waar het potlood zich bevindt ten opzichte van het lichaam. Anderzijds kan de precieze plaats van het potlood vaak pas worden vastgesteld door de zintuigen te richten bijvoorbeeld door er naar te kijken (een motorische activiteit). Andere zintuigen dragen eveneens bij aan de interne representatie. Zo meten sensoren in spieren en pezen de lengte van de spieren en de door de spieren uitgeoefende kracht, waardoor onder andere de stand van de ledematen ten opzichte van elkaar en in de ruimte geregistreerd wordt. Ook met de ogen dicht is men zo voortdurend geïnformeerd over de lichaamshouding. De interne representatie wordt verder beïnvloed door verwachtingspatronen die door het zenuwstelsel zelf worden gegenereerd. Er zijn duidelijke aanwijzingen dat bij een actie de interne representatie onmiddellijk wordt bijgesteld op basis

plek. Aan de reeks van spanningspieken is te zien dat verschillende spiervezels achtereenvolgens actief worden.

Onder: Op deze wijze wordt in het ziekenhuis een elektro-myogram opgenomen. De geregistreeerde spieractiviteit wordt afgebeeld op een monitor.







Links: Hier zien we een zenuwcel onder de microscoop. In het cellichaam is de kern van de zenuwcel te zien. De lange strepen die diagonaal over de foto lopen, zijn vertakkingen van andere zenuwcellen.

Boven: Met behulp van speciale camera's kunnen de x-, y- en z-coördinaten van reflectors worden gemeten, die op verschillende plaatsen op het lichaam zijn geplakt. Zo kan de positie van ledematen als functie van de tijd worden vastgelegd. Vervolgens kunnen met behulp van een computer de meetgegevens nader worden geanalyseerd. In de onderste figuur is de stand van de benen op diverse tijdstippen tijdens de stapcyclus weergegeven.

van wat het centrale zenuwstelsel *verwacht* dat het effect van de actie zal zijn. Zintuigelijke verificatie volgt pas later. De interne representatie loopt dus niet achter de feiten aan, integendeel!

Doelgerichte armbewegingen

De strategie die wordt gevolgd bij het maken van een beweging weerspiegelt zich in de uitvoering van die beweging. Zo kunnen doelgerichte willekeurige armbewegingen vergroot worden uitgevoerd door de kracht hetzelfde te houden en de duur ervan te variëren, anderszins, door de grootte van de kracht te variëren bij gelijke duur van de verschillende fasen van de beweging.

In beide gevallen wordt de arm versneld in de richting van de gewenste doelpositie. Hiertoe wordt een groep van spieren, de zogenaamde *agonisten*, gedurende enige tijd geactiveerd. Vervolgens wordt een andere groep spieren, de *antagonisten*, geactiveerd om de arm weer af te remmen. Na deze laatste activiteit worden agonisten en antagonisten beide geactiveerd. Deze laatste activatiefase is vermoedelijk belangrijk voor het stabiliseren van de arm in de gewenste eindpositie. Bij snelle doelgerichte bewegingen blijkt, dat de sterkte van de eerste activatie van de agonisten nagenoeg constant is. Indien een grotere beweging moet worden gemaakt, neemt de activatie niet toe in sterkte, maar wordt de duur van de activatie langer (zie fig. 3). Er wordt dus geen grotere kracht uitgeoefend, maar de arm wordt gedurende langere tijd versneld vooraleer de beweging weer wordt afgeremd. Hogere bewegingssnelheden worden daarmee bereikt bij grotere bewegingsamplituden.

Het blijkt dat deze wijze van uitvoeren van doelgerichte bewegingen zeer reproduceerbaar bij verschillende mensen en ook bij dieren wordt teruggevonden. De bassist die met zijn hand langs de hals van zijn contrabas glijdt, de honkbalwerper die de bal richting slagman gooit, allen vertonen zij dit zeer karakteristieke patroon.

Bij het arceren van een oppervlak wordt een andere stuurstrategie gevolgd. De duur van de arceerbewegingen (en dus van de activaties) blijkt constant te worden gehouden. De sterkte van de activatie wordt groter of kleiner gemaakt al naar gelang een grotere of kleinere

Prikkelbaarheid en impulsgeleiding

Prikkelbaarheid of het vermogen om op in- en uitwendige omstandigheden actief te reageren, is een van de kenmerken van levende organismen. De prikkels worden opgevangen door receptoren. Deze wekken impulsen op in een impulsgeleidend en -verwerkend systeem, het zenuwstelsel, dat reagerende structuren (effectoren, zoals spieren en klieren) kan beïnvloeden.

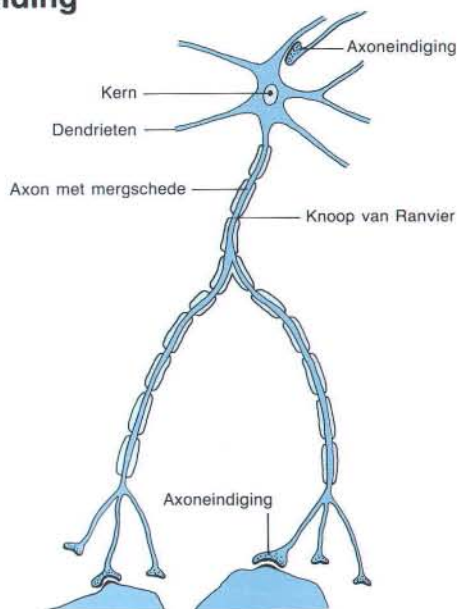
Afhankelijk van de fysisch-chemische aard van de prikkels kan een indeling gemaakt worden naar mechanische, chemische, thermische, optische en elektrische prikkels. Een bepaald type receptor is slechts optimaal gevoelig voor één type prikkel: de *adequate prikkel*. Voor het oog is dit licht (optische prikkel), voor de spierspoel is dit rek (mechanische prikkel). Receptoren zetten prikkels via enkele tussenstappen om in elektro-chemische impulsen.

Zintuigen bestaan uit een of meerdere receptorcellen. Zij staan in contact met sensibele (= gevoelige) neuronen die de impulsen in de richting van het centrale zenuwstelsel geleiden (afferente signalen). Bij de omzetting van prikkels in impulsen en de geleiding ervan spelen de membranen van respectievelijk de receptor en de zenuwcel een essentiële rol.

Tengevolge van verschillen in ionenconcentraties tussen de vloeistoffen binnen en buiten de cel bestaat er een potentiaalverschil van ongeveer -70 mV over de celmembraan (afhankelijk van het type cel en organisme), waarbij de binnenkant negatief is ten opzichte van de buitenkant. Dit potentiaalverschil heet *rustpotentiaal*.

Wanneer de receptor geprikkeld wordt, verandert de doorlaatbaarheid van de receptormembraan voor de ionen waardoor het potentiaalverschil vermindert. Deze vermindering heet de *receptorpotentiaal*. Op de plaats waar de receptor contact maakt met de zenuwvezel veroorzaakt de receptorpotentiaal doorlaatbaarheidsveranderingen in de membraan van de zenuwvezel waardoor hier een *generatorpotentiaal* ontstaat. Zowel de receptorpotentiaal als de generatorpotentiaal zijn evenredig met de sterkte van de prikkel. Wanneer de generatorpotentiaal een bepaalde grens, de *drempelwaarde*, wordt bereikt, (het potentiaalverschil wordt bijvoorbeeld van -70 mV vermindert tot -55 mV), dan ontstaat er een *actiepotentiaal*.

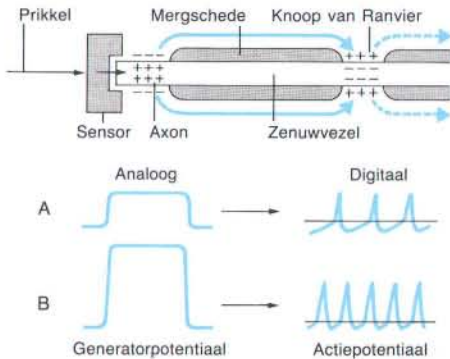
Door ionenverschuivingen wordt de binnenkant van de cel positief ten opzichte van de buitenkant. De prikkelsterkte wordt vertaald in de frequentie van de actiepotentialen in de zenuw-



vezel. De grootte van de actiepotentiaal is constant en onafhankelijk van de prikkelsterkte en -duur. Dit staat bekend als het *alles-of-niets-principe*. De receptorcel en het begin van de zenuwvezel zijn daarom functioneel te beschouwen als een analoog-digitaal converter; een analoog signaal, de prikkel, wordt omgezet in een serie pulsen, ook wel actiepotentialen genaamd.

Zodra een actiepotentiaal in de eerste insnoering van Ranvier is ontstaan, wordt ter plaatse van de volgende insnoering de membraan eveneens zodanig beïnvloed dat ook daar een actiepotentiaal ontstaat, het signaal is op weg naar het centrale zenuwstelsel met een snelheid van zo'n 30 tot $100 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, afhankelijk van het type vezel.

Op deze wijze komt het afferente signaal via een sensibel neuron in de grijze vlinder van het ruggemerg. Daar wordt het signaal via een *synaps* doorgegeven naar een schakelcel of een motorische cel. Wanneer een actiepotentiaal arriveert bij het eind van de neuriet (de pre-synaptische membraan), leidt dit tot het openbarsten van blaasjes die zich daar bevinden. Uit de blaasjes komt een *neurotransmitter* vrij die afhankelijk van het type een activerend of juist inhiberend (remmend) effect heeft op de post-synap-



Boven: Fig. 1-1. Een actiepotentiaal ontstaat als een prikkel een zodanig potentiaalverschil over het membraan van het cellichaam teweegbrengt dat de drempelwaarde wordt overschreden. De prikkelsterkte en de frequentie van de actiepotentialen zijn gerelateerd; neemt de generatorpotentiaal toe, dan wordt de frequentie hoger.

Links: Fig. 1-2. Prikkel lopen langs het axon. Bij de synaps wordt een transmitter vrijgemaakt, die voor de overdracht van de prikkel zorgt.

tische membraan van een dendriet of cellichaam van het volgende neuron. Activerende neurotransmitters verlagen het potentiaalverschil, wanneer daarbij wederom de drempelwaarde wordt bereikt wordt de actiepotentiaal doorgegeven. Inhiberende neurotransmitters verhogen echter het potentiaalverschil, zodat het ontvangende neuron minder gevoelig wordt. Aangezien een neuron een groot aantal synaptische contacten heeft met andere neuronen (de Purkinjecel in de schors van de kleine hersenen zo'n 150 000) kan door optelling van activerende en inhiberende signalen integratie plaatsvinden. Het centraal zenuwstelsel kent daarbij een hiërarchische opbouw; hogere centra worden gevoed met informatie uit lagere die op hun beurt weer de informatie ontvangen en integreren van vele receptoren. De omgekeerde weg wordt vervolgens bewandeld door van het centrale zenuwstelsel uitgaande (efferente) motorische signalen.

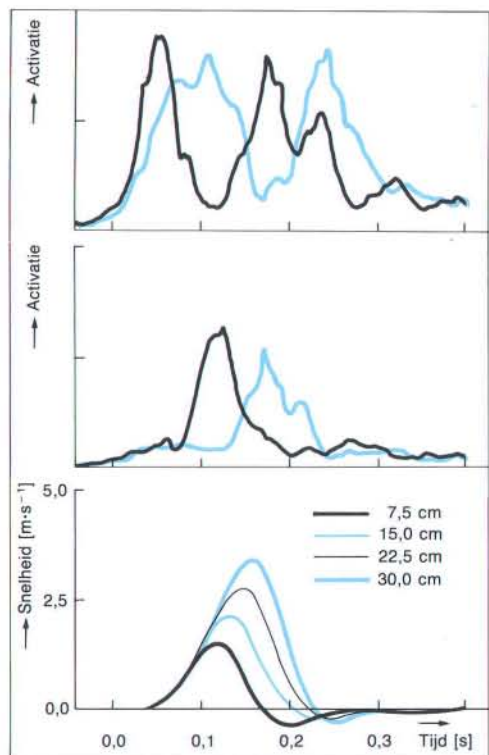
Dr. C.D. Notenboom

Drs. C.J. Visser

Stichting Opleiding Leraren, Utrecht

afstand moet worden afgelegd bij het arceren. Mogelijk hangt de keus van een andere stuurstrategie hier samen met het feit dat niet een precieze positie hoeft te worden bereikt zoals bij een doelgerichte beweging.

Hoewel bij bewegingen in verschillende richtingen uiteraard verschillende spieren worden geactiveerd, blijven de stuurstrategieën steeds hetzelfde. Indien een beweging sneller of langzamer moet worden uitgevoerd wordt het hele patroon in de tijd gecomprimeerd of uitgerekt. Dit gegeven heeft geleid tot het idee dat in principe de vorm van het activatiepatroon voor een bepaald type beweging hetzelfde is, maar dat de precieze grootte en duur van het activatiepatroon afhangt van bijvoorbeeld de snelheid van de beweging, de grootte, etc.



Boven: Fig. 3. Snelle doelgerichte armbewegingen worden gegenereerd door een zgn. drieblokspatroom van spieractiviteit. Boven zien we een activatieblok voor de spier die de arm versnelt, gevolgd door een voor de spieren die de beweging afremmen (midden). De onderste figuur geeft de bewegingssnelheid in de tijd weer. De stippe lijnen laten zien dat voor grotere bewegingen de spier die de arm versnelt, langer wordt geactiveerd.

Reflexboog en spierspoelen

Spierspoelen behoren met de peesreceptoren en de receptoren in de gewrichten tot de groep van zintuigen die informatie verschaffen over de stand en beweging van alle delen van het lichaam ten opzichte van elkaar en in de ruimte. Spierspoelen zijn ingewikkeld gebouwde orgaantjes die in vrijwel alle skeletspieren voorkomen, vooral in spieren die bij de uitvoering van nauwkeurige bewegingen betrokken zijn. De spierspoel bestaat uit een relatief dik middengedeelte dat naar beide zijden taps toeloopt. Het geheel is omgeven door een kapsel waarbinnen zich een lymfe-achtige vloeistof bevindt en gemodificeerde spiervezels; de *intrafusale vezels*. Aan deze vezels worden twee onderdelen onderscheiden: het centraal gelegen deel met kernen, omgeven door de annulospirale windingen (de receptorstructuur) en de van spiervezeltjes voorziene uiteinden, die samentrekbaar zijn. Deze laatste zijn verbonden met het bindweefselkapsel van de overige buiten het spoeltje gelegen spiervezels; de *extrafusale vezels*.

Bij rekking van de spier worden de centrale delen van de spierspoeltjes uitgerekt. Dit wordt waargenomen door de annulospirale windingen en de resulterende actiepotentialen worden via de *1a-afferenten* doorgegeven naar het centrale zenuwstelsel. Na verwerking aldaar van de informatie kan in de spier een reactie volgen in de vorm van een samentrekking.

Onder rustomstandigheden worden de spierspoeltjes in een zekere spanningstoestand gehouden door samentrekking van de uiteinden van de intrafusale vezels. Niet alleen kan zo de gevoeligheid van het spoeltje worden geregeld, maar ook

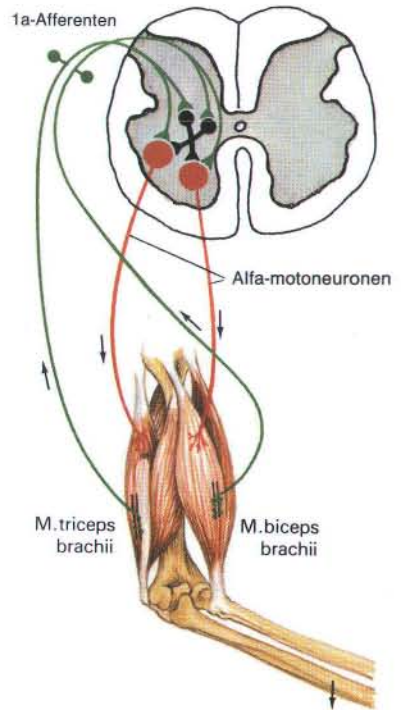


Fig. II-1. De spierspoeltjes hebben tot taak de lengte en de lengteveranderingen van een spier aan het centrale zenuwstelsel door te geven. Rek van het equatoriale deel van binnen het spoeltje gelegen spiervezeltjes veroorzaakt impulsen in de annulo-spirale zenuwwindingen van afferente zenuwvezels. Vanuit het centrale zenuwstelsel kunnen via fusimotorische (gamma-)vezels de intrafusale spiervezels worden geactiveerd, waardoor bij bewegingen het spoeltje in het optimale gebied blijft functioneren.

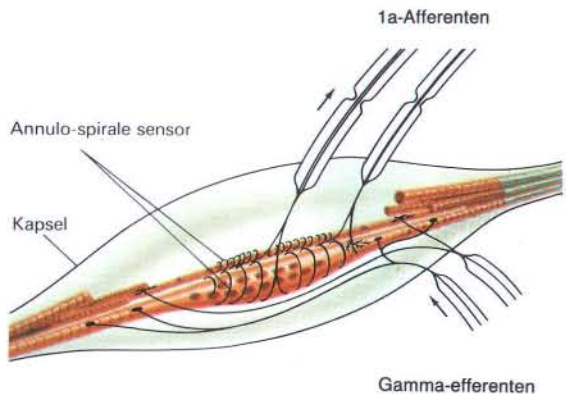


Fig. II-2. Bij de gebogen arm rekt het gewicht van de onderarm de buigspieren (o.a. de *musculus biceps brachii*) van het elleboogsgewricht. De spierspoeltjes geven hierover informatie door naar het ruggemerg waarop reflector de activatie van de spier toeneemt en al te grote lengtetoe name wordt tegengegaan. De motoneuronen van de strekspieren worden hierbij reflector geremd. De remmende schakelneuronen zijn zwart getekend.

kan op deze wijze de lengte van de intrafusale vezels worden aangepast aan de variabele lengte van de extrafusale vezels.

Deze spanningstoestand wordt geregeld via de zogenaamde *gamma-efferente motoneuronen*. In de ruststand geven de spierspoeltjes voortdurend actiepotentialen af met een zekere basisfrequentie (spontaan vurende activiteit). Wordt de spier langer dan wordt deze frequentie verhoogd, wordt de spier korter dan wordt hij verlaagd.

De verwerking van de gegevens uit de spierspoeltjes, de bewerking ervan in het centrale zenuwstelsel en de daaruit volgende activatie van de spier vormt een *reflexboog*. De gegevens van de Ia-afferenten waarvan de cellichamen liggen in de spinale ganglions, worden allereerst overgedragen op schakelneuronen of/ en motorische neuron en gelegen in de grijze vlinder in het ruggemerg. De bij deze neuron en aangekomen gegevens kunnen leiden tot een reflex zonder tussenkomst van de hersenen. Gamma-efferente motoneuron en stimuleren daarbij de intrafusale vezels terwijl de *alfa-efferente motoneuron en* de extrafusale vezels stimuleren. Via de schakelneuron en kan de informatie echter ook doorgegeven worden naar de andere zijde van het lichaam, hoger of lager gelegen ruggemerg-segmenten of de grote- en kleine hersenen.

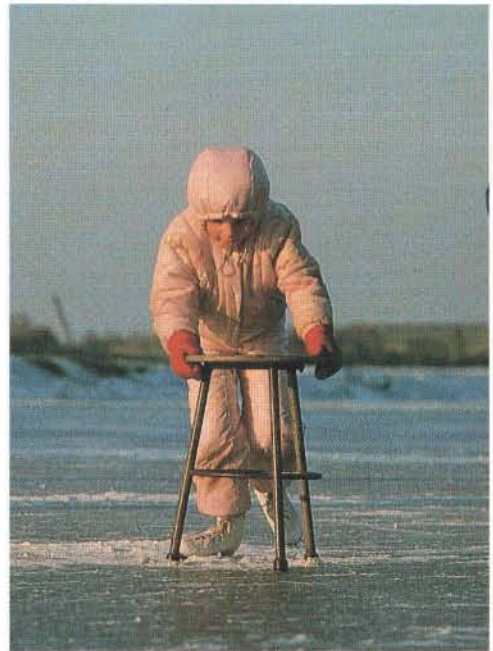
Deze in de hersenen binnenkomende informatie wordt geïntegreerd met de informatie van de overige zintuigen. Daarna worden vanuit de motorische schors van de grote hersenen impulsen gestuurd via gamma- en alfa-efferente motoneuron en naar de spieren.

Dr. C.D. Notenboom

Drs. C.J. Visser

Stichting Opleiding Leraren, Utrecht

Volgens dit idee wordt eerst in abstracte vorm, wellicht in de interne representatie, de 'baan' van de beweging bepaald. Pas later in de voorbereiding van de beweging wordt vastgelegd welke spieren worden geactiveerd, samenhangend met de bewegingsrichting en het feit dat de uitgevoerde beweging groot of klein kan zijn (bijvoorbeeld schrijven op papier of op een schoolbord). De snelheid van de beweging wordt bepaald door de snelheid waarmee de 'baan' in de interne representatie wordt afgelegd. Een aanwijzing voor het idee van een dergelijk activatiepatroon volgt uit het gegeven, dat bijvoorbeeld de vorm van een handtekening gezet op papier nagenoeg identiek is aan een handtekening gezet op een schoolbord. Hoewel de signaturen kunnen verschillen in grootte en in de spieren, die bij de beweging zijn betrokken, is de relatieve snelheid en de druk op het papier c.q. schoolbord, in overeenkomstige fasen van de beweging hetzelfde.



Boven: Een kruk is een geschikt hulpmiddel bij het spelenderwijs onder de knie krijgen van elementaire schaats technieken. Bij het aanleren van dit soort bewegingen is de coördinatie tussen de verschillende lichaamsdelen nog niet perfect zodat enige voorzichtigheid en steun op glad ijs geen luxe is.

De rol van reflexen

Bij het uitvoeren van een groot aantal bewegingen is het van belang dat de persoon, al dan niet bewust, op de hoogte is van de positie van zijn ledematen en van het effect van de spieractivaties. Visuele controle hoeft hierbij niet altijd plaats te vinden. Een goede tennisser bijvoorbeeld kijkt bij zijn slagen alleen maar naar de naderende bal en niet naar zijn racket. Direct of indirect dragen lengte-, snelheids- en krachtgevoelige sensoren in spieren, tast- en gewichtsreceptoren, om er maar een aantal te noemen, bij aan de informatie over houding en beweging. Die bijdrage beperkt zich niet tot de bewuste ervaring.

Op veel niveaus vindt onbewuste interactie plaats tussen sensorische en motorische informatie. Een eenvoudig voorbeeld is de buigreflex. Hier worden via een reflexkring, die via het ruggemerg en niet via de hersenen loopt,

spiercontracties opgewekt, die bijvoorbeeld bij een pijn prikkel een direct terugtrekken van de arm kunnen bewerkstelligen. Een ander voorbeeld is de spierrekreflex. Via deze reflexkring wordt een uitgerekte spier geactiveerd, waardoor deze zich verzet tegen de rek en het systeem een zekere stijfheid krijgt.

Door de eigenschappen van de reflexen gedraagt een ledemaat zich min of meer als een gedempt massa-veersysteem. De reflexen geven ledematen in zekere zin de eigenschappen van een veer: naarmate de stand van de ledematen verder afwijkt van de gewenste positie, geven de sensoren een groter signaal af, waardoor een grotere reflexactiviteit optreedt en spieren een grotere kracht uitoefenen in de richting van de gewenste positie.

De gevoeligheid van sommige sensoren in de spier kan worden ingesteld vanuit het centrale zenuwstelsel. De kringversterking van de spierrekreflex is bijvoorbeeld regelbaar, waardoor

Regelmechanismen

Regelmechanismen, en als onderdeel daarvan regelkringen, treft men zowel in de techniek als in biologische organismen aan. Een regelkring bevat steeds een *sensor* die gevoelig is voor de grootte die moet worden geregeld of die juist constant moet worden gehouden. De gemeten waarde y wordt dan door een zogenoemde *comparator* vergeleken met de gewenste waarde y_0 . De afwijking ($y_0 - y$) wordt aan een *effector*-systeem toegevoegd, bijvoorbeeld een motor of een spier. Deze regelt de betreffende grootte bij. In het eenvoudigste geval wordt de afwijking alleen maar versterkt terug gekoppeld. Men spreekt dan van een *proportionele regeling*. De mate waarin de afwijking versterkt wordt teruggevoerd heet de kringversterking. Als het regelsysteem te traag blijkt te zijn kan het nuttig zijn om niet alleen de afwijking te detecteren en terug te voeren, maar ook de snelheid waarmee de afwijking toeneemt. Op verstoringen of veranderingen in de gewenste waarde kan dan sneller worden gereageerd. Men spreekt dan van een *differentiërende regeling*. Een andere veel gebruikte versie is de *integrerende regeling*, een regelsysteem dat de effector in staat stelt zeer kleine verschillen weg te werken door ze te integre-

Boven: Robots kunnen werkzaamheden verrichten die vergelijkbaar zijn met menselijke handelingen. De coördinatie daarvan heeft enige overeenkomsten met die van de mens. Een robot bezit een manipulator, vergelijkbaar met de arm, en een regelenheid met geheugen, vergelijkbaar met de hersenen.



het hele systeem flexibeler wordt. Zodoende kan de stijfheid en stabiliteit van het motorisch systeem worden geregeld.

De hier besproken reflexmechanismen vormen relatief eenvoudige terugkoppelsystemen, waarbij de sensorische informatie via het ruggemerg tot spiercontracties leidt. De looptijden in deze regelsystemen zijn in de orde van 10 tot 50 ms. De sensorische informatie gaat via het ruggemerg ook naar hogere delen van het centrale zenuwstelsel. Indien de effectiviteit van de spierreflex niet afdoende is om een verstoring te compenseren, kan na langere tijd een volgende reactie op gang komen. In eerste instantie wordt na ongeveer 100 à 150 ms een elementair activatiepatroon gegenereerd. Dit is soms niet te onderdrukken en volgt veelal spontaan of 'reflexmatig'. Dergelijke activatiepatronen bestaan weer uit vastliggende combinaties van spieractivaties, die ergens in het zenuwstelsel opgeslagen liggen.

ren. Al dit soort regelprincipes en nog vele andere vinden we terug in levende organismen.

Om terug te keren naar de motoriek, in de spieren liggen lengtegevoelige sensoren. De gedetecteerde lengte van de spier wordt vergeleken met de gewenste lengte, en het verschil wordt vertaald in een stimulering van de zenuwcellen (de alfa-motoneuronen), die de spier weer activeren en zo de afwijking bijregelen. Er zijn ook sensoren in de spier die speciaal gevoelig zijn voor snelheid van lengteverandering van de spier. De regeling die hierop is gebaseerd vertoont een aantal eigenschappen van een differentiërende regeling.

Een andere manier van regelen is om op basis van de waargenomen afwijking of nieuwe gewenste positie, de geschatte benodigde spieractiviteiten van te voren te programmeren en daarmee de beweging dan snel en in een geheel uit te voeren. Snelle doelgerichte armbewegingen worden voornamelijk zo uitgevoerd. De eerder beschreven regelkring wordt dan weer ingeschakeld aan het einde van de beweging om de eindpositie eventueel nog wat bij te regelen en vast te houden.



Boven: Pentekening van Michelangelo. In het mannelijk naakt wordt door een paar vloeiende lijnen een duidelijke indruk van een drie-dimensionale figuur geschapen. Door de strakke arcering over de kleding van de vrouwen verdwijnt het drie-dimensionale effect grotendeels. Onder de arcering lopen vloeiende lijnen, plooiën in de kleding, die niet overeenkomen met de arcering.

Pas na ongeveer 200 ms volgt (indien nog noodzakelijk) een gerichte en nauwkeurige bewuste reactie. Deze structuur met diverse seriële en parallelle regelkringen illustreert de hiërarchische organisatie van het zenuwstelsel. Lagere delen van het centrale zenuwstelsel regelen en besturen de perifere reflexmechanismen en eigenschappen van de spieren zodanig, dat zij bepaalde taken automatisch en reflexmatig kunnen vervullen. Slechts indien deze perifere mechanismen niet afdoende effectief zijn, grijpen de hogere delen van het centraal zenuwstelsel in. Zo wordt bijvoorbeeld bij het blijven vastzitten van een stekel van een braamstruik in de vinger, eerst de hand teruggetrokken door middel van een reflex. Daarna

pas wordt de stekel verwijderd. De eerste reactie is doelgericht maar niet doelbewust. De tweede is allebei.

Niet-bewust gestuurde activiteit speelt niet alleen een rol bij de compensatie van verstoringen, maar ook bij de correctie van bewegingen, die niet geheel correct dreigen te worden uitgevoerd (bijvoorbeeld bij het lopen door mul zand, bij bewegingen met enigszins vermoeide spieren of bij een verkeerd ingeschatte belasting).

Dank zij dit soort regelingen kunnen veel bewegingen nauwkeurig worden uitgevoerd, zelfs indien objecten met nog onbekende massa worden verplaatst. Bij zeer snelle doelgerichte bewegingen beperkt de reflexbijdrage zich vermoedelijk tot het stabiliseren van ledematen in de eindfase van de beweging. De beweging zelf verloopt dan volgens een vooraf opgesteld plan waarin vrijwel niet meer kan worden ingegrepen.

Motorische leerprocessen

Van wat er zich bij kinderen tijdens de ontwikkeling van de motoriek afspeelt, is eigenlijk weinig bekend. De pasgeborene beschikt al over een aantal zeer elementaire bewegingsprogramma's. De loopbeweging is daar een

voorbeeld van, maar hij kan daar nog niet mee uit de voeten. Lopen vereist veel meer dan het eenvoudige cyclische bewegingspatroon dat al een paar dagen na de geboorte kan worden opgewekt. Geleidelijk worden in de ontwikkeling de elementaire basisbewegingen geïntegreerd in meer complexe, functionele bewegingspatronen, adequaat gestuurd door oog, evenwichtsorgaan, etc. Deze ontwikkeling is zeer karakteristiek. Is een kind eenmaal in staat een bepaalde taak redelijk uit te voeren, bijvoorbeeld zijn hand naar een beoogde plaats te brengen, dan kunnen op basis van deze vaardigheid weer nieuwe vaardigheden worden aangeleerd, zoals tekenen of schrijven.

Aanvankelijk zal een dergelijke nieuwe taak langzaam worden uitgevoerd, zodat de positie ieder moment met de ogen kan worden gecontroleerd. Door de stijfheid hoog te houden wordt de positiecontrole nog extra vergroot. Is men eenmaal met de 'baan' van de beweging vertrouwd, dan kan het hele patroon in de tijd worden ingekrompen en kan de stijfheid ook geringer zijn. Grotere snelheden en afnemende stijfheden worden inderdaad beide waargenomen tijdens het leerproces van dergelijke motorische vaardigheden. Bovendien worden de bewegingen vloeiender doordat minder wordt bijgeregeld en massatraagheidseffecten bij hogere snelheden relatief belangrijker worden. Lijnen in tekeningen en penseelstreken in schilderijen van vaardige artiesten tonen een dergelijk overwegend vloeiend en voor een bepaalde artiest eigen karakter. Dit gegeven blijkt mede gebruikt te kunnen worden om kwaliteit en authenticiteit van meesterwerken vast te stellen.

Coördinatie van bewegingen

Elke afzonderlijke spieractiviteit staat in dienst van het doel, namelijk de beweging, die door het geheel van alle spieractiviteiten gemaakt moet worden. Een goede coördinatie is noodzakelijk, om informatie omtrent de richting, de kracht en de tijd van de spierspanning van elke spier afzonderlijk door te geven. Immers, ook bij heel eenvoudige bewegingen zijn vrijwel altijd meerdere spieren betrokken. Zo dragen vijf spieren bij aan het buigen van de arm. Dit illustreert al één probleem bij het begrijpen van de coördinatie van bewegingen: in principe zou activatie van één spier voldoende



Boven: Voor iemand die leert spelen op een contrabas is visuele controle van de vingerbewegingen noodzakelijk. Een geoefend speler kan complexe bewegingspatronen foutloos uitvoeren, ook zonder ook maar een moment naar de vingers te kijken.

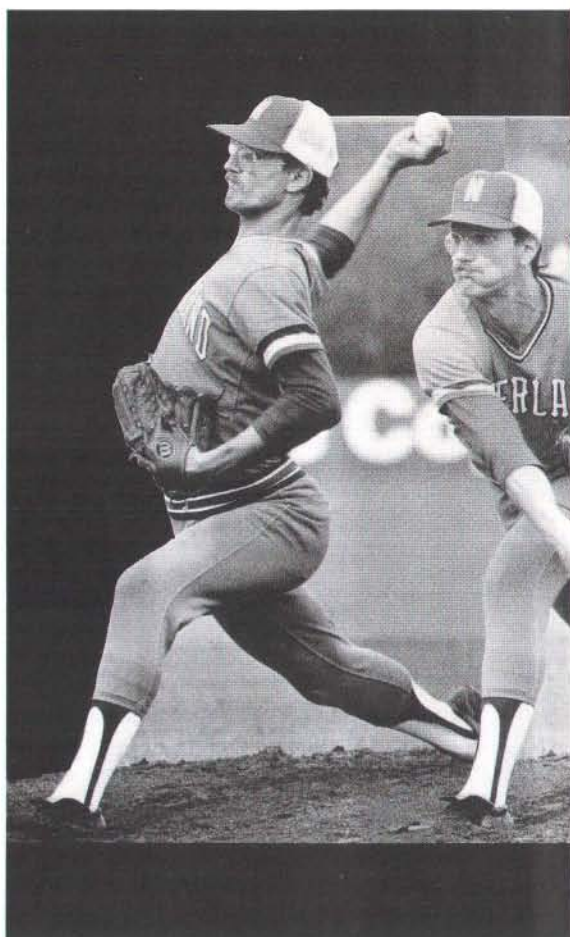


Hoe komt een kat op haar pootjes terecht? Aangezien de kat zich niet kan afzetten, blijft het hoek-draaimoment constant. Toch is de kat in staat zich in de lucht te draaien. Dit kan door eerst het lichaam te buigen en vervolgens voor- en achterlichaam te draaien in dezelfde richting van de lichaamsas, maar tegengesteld in de ruimte. Deze stroboscopische opname laat een aantal stadia van deze gecoördineerde beweging zien. Op het moment dat de kat begint te vallen vouwt ze haar lichaam dubbel door in haar middel te draaien. Vervolgens roteren het voor- en achterlijf om de erg flexibele, bijna 180° draaibare, ruggegraat. Dan wordt het lichaam weer gestrekt, het 'landingsgestel uitgeklapt' en de kat is klaar voor de landing.

moeten zijn om de arm te buigen. Met vijf spieren is er een oneindig aantal combinaties van spieractivaties mogelijk om de arm op de gewenste wijze te buigen. Toch blijkt dat iedere spier bij een beweging een eigen karakteristieke bijdrage levert, die voor verschillende personen grote overeenkomst vertoont.

De activatie van spieren bij bewegingen kan worden begrepen als men ervan uitgaat dat de sensorische en motorische informatie aan elkaar moeten zijn aangepast. Sensoren in een spier meten verplaatsingen in de lengterichting van die spier. Echter, de verplaatsing is een gevolg van de activiteit van meerdere spieren en niet van de betrokken spieren alleen. In het algemeen zullen spieractiviteit en gesignaleerde spierverskorting dus niet met elkaar overeenstemmen. De sensorische activiteit, die in de verschillende spieren bij spierverskorting wordt opgewekt, is in sommige gevallen wél evenredig met combinaties van spieractiviteiten en bijbehorende bewegingen. Voor deze combinaties van spieractiviteiten zijn motorische en sensorische informatie in overeenstemming met elkaar. Andere bewegingen kunnen dan worden samengesteld uit deze combinaties.

Complexere bewegingen kunnen worden opgebouwd uit een aaneenschakeling van eenvoudige fundamentele motorische taken, vergelijkbaar met buigen van de arm, optillen van de arm, etc. Volgens deze gedachte moet een leerproces van een complexe beweging (zoals bijvoorbeeld bij het turnen, hoogspringen, etc.) worden opgevat als het op elkaar afstemmen van de juiste grootte, snelheid en 'timing' van fundamentele motorische taken. Deze moeten zodanig worden aaneengeschakeld, dat elk van de basiscomponenten ondergeschikt wordt gemaakt aan de organisatie van de gehele beweging. Een fraai voorbeeld hiervan is de honkbalspeler, die door een juiste combinatie van bewegingen in de heupen, schouder en armen met zijn knuppel een bal moet raken, die met grote snelheid op hem af komt. De variabiliteit in de positie van de knuppel blijkt kleiner te zijn dan welke men zou verwachten op grond van de variabiliteiten in de positie van de heupen, schouder en armen. Kennelijk is het zo dat de houding van de diverse lichaamsdelen iets kan variëren maar tezamen steeds zo, dat het uiteindelijke resultaat (in dit geval de positie van de knuppel) hetzelfde is.



Veel van de in het voorgaande besproken functies worden verricht door complexe zenuwnetwerken die soms tientallen of honderden miljoenen zenuwcellen bevatten. Veelbelovende hypothesen gaan er van uit dat een belangrijke rol van een aantal van dit soort netwerken de transformatie van ruimtelijke coördinaten is. Om de positie van een object in de ruimte te kunnen bepalen uit het beeld op het netvlies, moet de stand van de ogen en van het hoofd in rekening worden gebracht. Het positiegevoel van de hand wordt niet alleen bepaald door de positie ten opzichte van de onderarm, maar tevens door de stand van onderarm, bovenarm, romp en dergelijke. Om de informatie van verschillende spieren en ledematen met elkaar te kunnen vergelijken en te rela-



Om de snelheid van de bal zo groot mogelijk te maken wordt het hele lichaam bij de werpbeweging ingezet. Deze foto's tonen hoe een werper een enorme zwaai moet maken om tijdens het afremmen van de beweging in evenwicht te blijven.

teren aan posities in de ruimte om ons heen, zijn allerhande transformaties nodig. Informatie van allerlei aard moet met elkaar in verband en in overeenstemming worden gebracht.

Van sommige netwerken in de hersenen, met name in de kleine hersenen, is de structuur redelijk bekend en deze lijkt zich zeer wel te lenen voor het uitvoeren van de noodzakelijke transformaties en bewerkingen.

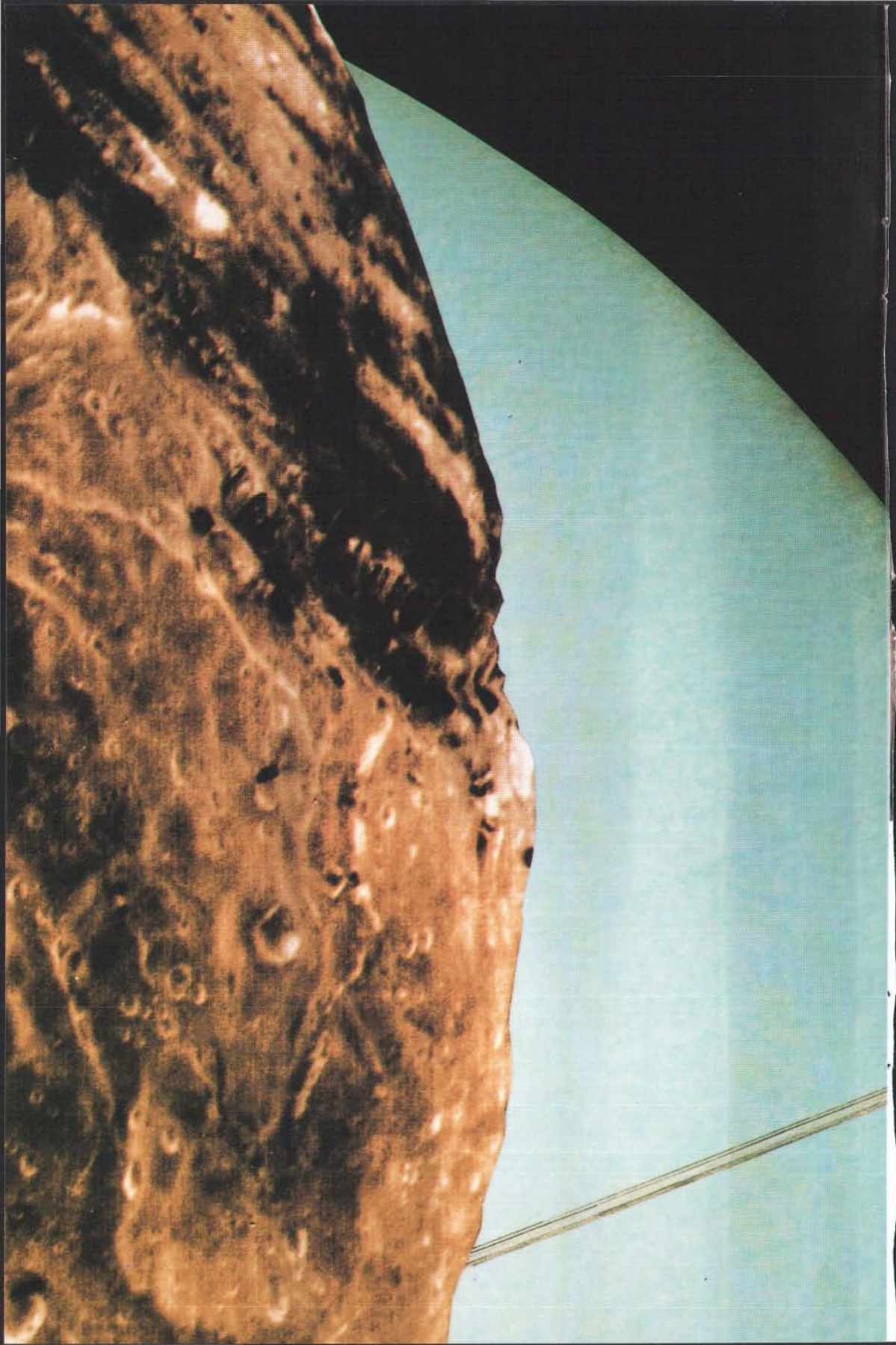
De door ieder als vanzelfsprekend ervaren coördinatie van bewegingen is dus het resultaat van de gezamenlijke activiteit van zintuigen, zenuwcellen en spieren. Tezamen vormen zij een complex systeem dat, met behulp van moderne computermodellen, wel begrepen, maar nog niet en detail verklaard kan worden. De praktijk is véél complexer.

Literatuur

- Pleeging, M., (1981). *Robots - Veranderingen aan de lopen-de band*. Natuur en Techniek 49, 8, pag. 624-639.
 Meer, S.B. v.d., (1985). *De pasgeborene - Een leven vol beweging*. Natuur en Techniek 53, 12, pag. 932-943.

Bronvermelding illustraties

- Peter Ginter/ABC-press, Amsterdam: pag. 240-241.
 Cor Evers, Akademisch Ziekenhuis Maastricht: pag. 242-243.
 Lennart Nilsson, uit: *Ontdek de Mens*, Uitgeverij Ploegsma, Amsterdam: pag. 244-245.
 Vicon B.V., Amsterdam: pag. 245 (boven).
 Paul Smits, Nijmegen: pag. 249.
 Acma Cribier, Beauchamp, Frankrijk: pag. 250.
 Michelangelo Buonarroti, uit: Jaffé, H.L.C. et al. (1979), *Authentication in the visual arts*. B.M. Israël BV, Amsterdam: pag. 251.
 Tony Ray Jones/ABC-press, Amsterdam: pag. 252.
 NHPA, Ardingly, Sussex: pag. 253.
 Peter Elenbaas, Amsterdam: pag. 254-255.



F.P. Israel
Sterrenwacht, Leiden

URANIUS

Een mistige
planeet

Tot eind januari van dit jaar was van de planeet Uranus niet veel meer bekend dan dat zij bestaat, tot de reuzenplaneten gerekend moet worden, vijf manen en negen dunne ringen heeft.

Eind januari passeerde de Voyager 2 deze mysterieuze planeet. Een stroom doorgeseinde gegevens loste een paar mysteries op maar zette tegelijkertijd daar weer nieuwe voor in de plaats.

Deze fotomontage toont op de voorgrond de maan Miranda, met daarachter Uranus en haar ringen. Zo zou een toekomstige bezoeker het kunnen zien...

Op 24 januari vloog de Voyager 2 de planeet Uranus voorbij op een afstand van 81 500 km, net iets meer dan anderhalve planeetdiameter. Met de gedetailleerde beelden die het ruimtevoertuig naar de Aarde zond is een nieuwe planeet toegevoegd aan de hemellichamen binnen het Zonnestelsel, waarover in één klap meer bekend is dan in de eeuwen daarvoor. Want veel wisten wij niet van Uranus.

Zij werd op 13 maart 1781 door Sir William Herschel min of meer bij toeval ontdekt; zij heeft een diameter van 51 000 km en is daarmee een van de reuzenplaneten van het Zonnestelsel samen met Jupiter, Saturnus en Neptunus. Zij beweegt, twintigmaal verder van de Zon dan de Aarde, eens in de 84 jaar om de Zon. Uranus wordt daarbij vergezeld door vijf grote manen: Miranda, Ariel, Umbriel, Titania en Oberon (vernoemd naar figuren van Shakespeare). Deze hebben diameters tussen 500 en 1600 km. Geen van de manen heeft een dampkring, terwijl Uranus zelf daarentegen grotendeels uit een dampkring van waterstof en helium bestaat met slechts een betrekkelijk kleine rotsachtige kern. In 1977 werd, eveneens bij toeval, ontdekt dat de planeet door negen zeer dunne en lichtzwakke ringen omgeven wordt.

De eigenaardigste eigenschap van Uranus is echter wel dat zijn omwentelingsas over 95 graden gekanteld is: zijn poolas ligt vrijwel in zijn baanvlak. Het gevolg is dat gedurende 42 jaar steeds een der beide polen beurtelings in voortdurend zonlicht en in voortdurende duisternis is gehuld; de polen wijzen dus niet steeds naar de Zon (zie fig. 1). Tengevolge van de grote afstand van Uranus tot de Aarde was tot januari 1986 nauwelijks meer over haar bekend dan in deze samenvatting is gegeven.

De planeet

Zoals te verwachten viel is daaraan nu een eind gekomen. De Voyager heeft verschillende waarnemingen aan Uranus en zijn manensysteem verricht, waarbij bijvoorbeeld de ontdekking van een magnetisch veld van ongeveer gelijke sterkte als dat van de Aarde en Saturnus een van de belangrijkste is. Klaarblijkelijk wordt ook het inwendige van Uranus gekenmerkt door bewegingen op grote schaal, die door middel van een dynamo-effect het waargenomen magnetische veld opwekken. De

Rechts: Sir William Herschel (1738-1822), ontdekte Uranus met behulp van een grote zelfgebouwde telescoop. Behalve Uranus ontdekte hij daarmee onder andere de poolkappen van Mars en twee manen van Saturnus.



veldlijnen verlaten de planeet op 35° van de pool die nu naar de Zon is toegekeerd. Met een dergelijk grote hoek tussen magnetische as en omwentelingsas is Uranus uniek in het Zonnestelsel.

Bovendien is Uranus omgeven door stralingsgordels, die voornamelijk snelle protonen bevatten. Ook hier sprake is van een gecompliceerde interactie van het magnetisch veld en de stralingsgordels met de manen en ringen en met de zonnewind.

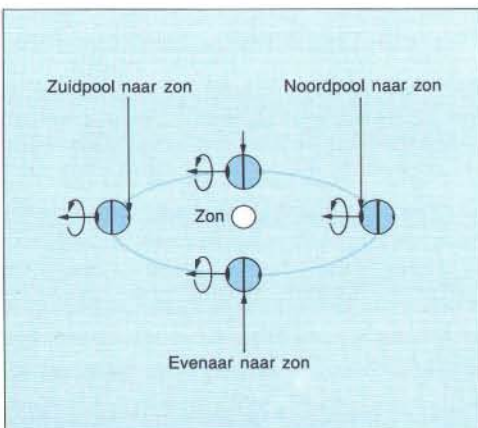
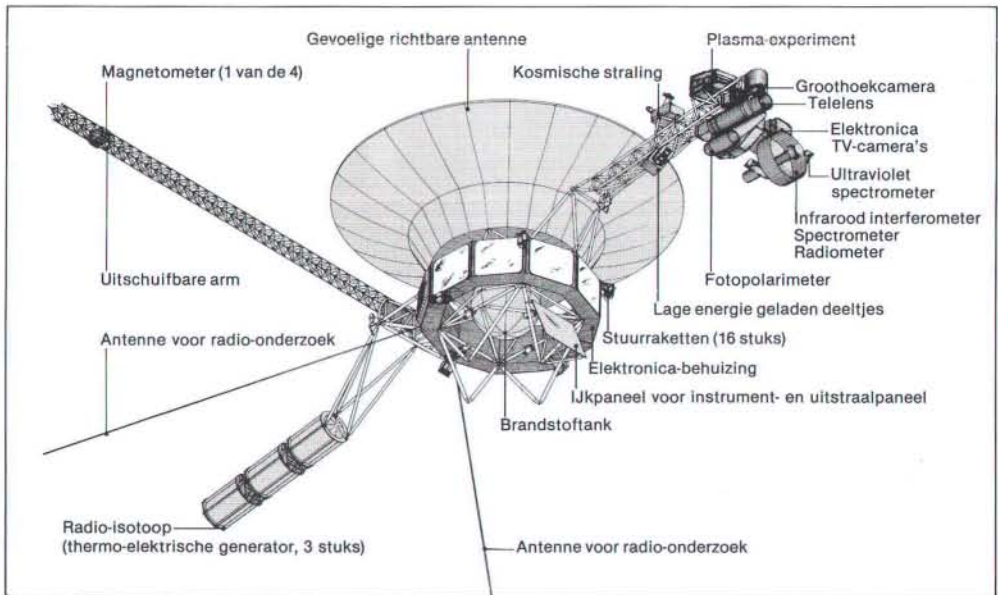
Het meest tot de verbeelding sprekende resultaat is echter wel de reeks beelden die met een tempo van ongeveer 200 per dag de Aarde bereikten na een reis door de ruimte van 2 uur 45 minuten. Om de zwakke radiosignalen nog te kunnen ontvangen had men bijzondere maatregelen getroffen, zoals het aan elkaar koppelen van verschillende ontvangers van radiosignalen, waardoor het ontvangend oppervlak op Aarde aanzienlijk werd vergroot. Tijdens de lange belichtingstijden (nodig vanwege het zwakke zonlicht) werd de stand van de Voyager ten opzichte van de planeet langzaam gedraaid om bewegingsonscherpte te voorkomen; zo iets was nog niet eerder gedaan. Beelden van de planeet zelf, bewerkt om hem in 'natuurlijke' kleuren te tonen, zijn wat teleurstellend: het menselijk oog zou ook vlakbij de planeet maar weinig detail op de blauw-groene schijf ontwaren.

Verdere computerbewerkingen waarmee de geringe contrasten vergroot werden, laten echter wat meer zien. De atmosfeer bij de pool wordt gekenmerkt door een lichte, 'smogachtige' nevel die onderliggende lagen verduistert. Tussen de pool en de equator zijn zwakjes verschillende parallelle wolkenbanden te zien, welke aan Jupiter en Saturnus doen

denken. Jupiter vertoont zijn banden in volle glorie, Saturnus doet dat al op versluierde wijze en bij Uranus overheerst de sluier van de hoge dampkring volkomen. Dit is een gevolg van het feit dat Uranus zo ver van de Zon afstaat en daardoor kouder is: hij ontvangt per eenheid van oppervlak slechts 2,5 promille van het zonlicht dat de Aarde ontvangt. Daardoor treedt wolkenvorming veel dieper in de dampkring op.

Belangrijk was de ontdekking van een paar

lichte wolken in verschillende banden, waarvan men de beweging over een aantal uren kon volgen. Uit deze beweging kan worden afgeleid dat de wolkenbanden waarin die wolken zich bevinden eens in de 16,2 en 16,9 uur rond de planeet bewegen: net als bijvoorbeeld bij Jupiter bewegen dus niet alle wolkenbanden even snel. Het snelheidsverschil tussen de bestudeerde twee wolkenbanden bedraagt 360 km per uur. Ter vergelijking: de waarnemingen van het magnetische veld wijzen op een as-



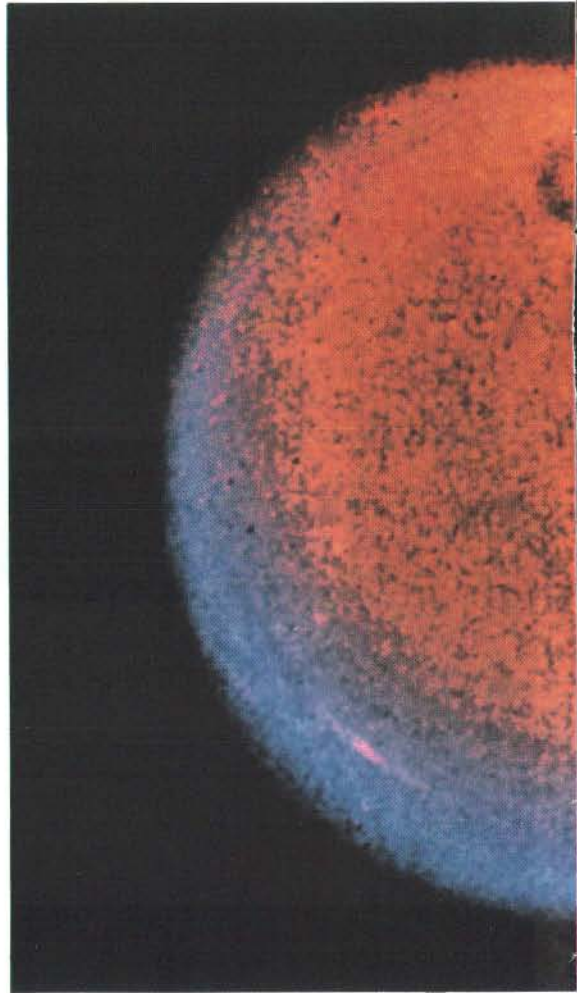
Links: Fig. 1. De rotatie-as van Uranus ligt vrijwel in zijn baanvlak. Op dit moment is de noordpool van Uranus bijna naar de zon gericht, waardoor op het noordelijk Uranus-halfrond een zeer lange poolzomer zijn hoogtepunt bereikt. Deze zomer duurt ongeveer 21 jaar, een kwart van de omlooptijd van Uranus om de zon. Pas in de 'herfst' zal de zon op het noordelijk halfrond weer op en onder gaan en wordt de zon op het zuidelijk halfrond weer zichtbaar.

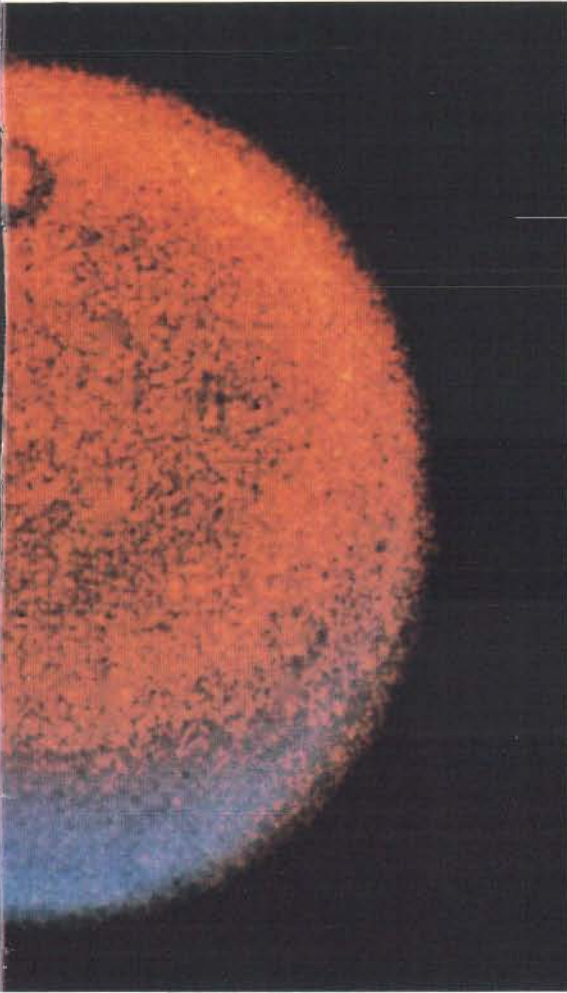
Boven: Fig. 2. Een overzicht van de Voyager ruimtevaartuigen. De TV camera's, waarmee de foto's in dit artikel zijn gemaakt, bevinden zich op de rechterarm. De taak van Voyager 1 was na de passage van Saturnus ten einde; Voyager 2 is nu onderweg naar Neptunus.

wenteling van 16,8 uur voor de diep gelegen delen van de dampkring. Op de nachtzijde van de planeet heeft men poollichten gezien, en aan de dagzijde, op grote hoogte, een zwak opgloeien (electroglow) tengevolge van ultraviolet zonlicht dat invalt op een halo van moleculair waterstof.

De ringen

Op de eerste bewerkingen van de opnamen zijn tien smalle en dunne ringen te zien. De breedste en helderste, de zgn. ϵ -ring, heeft een breedte variërend van 20 tot 80 kilometer en bestaat voor een groot deel uit nogal grote brokstukken met een karakteristieke afmeting van één meter! Andere ringen in het zonnestelsel bestaan veeleer uit deeltjes met een grootte van enkele centimeters of kleiner. Waar de vroeger ongetwijfeld aanwezige kleinere deeltjes gebleven zijn is niet bekend, maar men denkt dat die zijn afgeremd en naar de planeet zijn gevallen. De benodigde afremming kan veroorzaakt zijn door een schommelend magnetisch veld, of door een elektrostatische oplading in de electroglow. Zoals al was voorspeld wordt met name de ϵ -ring op zijn excentrische plaats gehouden door twee 'herdershonden', nieuw-ontdekte kleine maantjes (1986U7 en U8) aan weerszijden van de ring. De andere, smallere (enkele kilometers brede) ringen lijken echter *niet* in het bezit van zulke 'herdershonden' te zijn. Zulke maantjes zijn althans nog niet gevonden. Hun gedrag is daardoor nog niet zo duidelijk verklaard.





Links: Uranus in 'valse' kleuren. Aan de rand is in een der zwak zichtbare wolkenbanden een witte wolk te zien. De donkere ringen op het beeld zijn onscherp afgebeelde stofjes op de cameralens. De afstand was 8 miljoen km.

Linksonder: Twee opnamen van Uranus: de foto links toont Uranus in 'natuurlijke' kleuren, rechts zien we een beeld in 'valse' kleuren, waarbij de geringe contrasten sterk zijn opgevoerd. De afstand van de Voyager tot Uranus bedroeg 18 miljoen km.

Onder: De maan Oberon in natuurlijke kleuren. Het oppervlak wordt gekenmerkt door inslagkraters met lichte ringen, waarvan sommige met een centrale berg. Let op de 6 km hoge berg aan de maanrand. De afstand tot de maan bedroeg 660 000 km.



De grote manen

De meest opmerkelijke beelden werden verkregen van de vijf grootste manen. Zij hebben maar weinig kleur. Wat er aan kleur is, is roodachtig grijs. Hun geringe massa duidt er op dat zij, met uitzondering van Miranda, voor ongeveer de helft uit (water)ijs bestaan, maar hun gecompliceerde oppervlakken verraden de aanwezigheid van nog niet zo goed begrepen inwendige activiteit. In het bijzonder de binnenste maan Miranda, die maar 500 km groot is, vertoont een ruw oppervlak. Op de zeer gedetailleerde beelden kunnen details tot 600 meter worden onderscheiden, doordat

men de Voyager op ongeveer 30000 km afstand van de maan kon laten vliegen. Op Miranda zijn verschillende inslagkraters zichtbaar, maar daarnaast ook geaccidenteerd terrein, groeven, valleien en troggen welke op breuken of gletsjerachtige verschijnselen wijzen. De overgang van de ene terreinsoort naar de andere is abrupt. Dat alles is heel merkwaardig, want bij de lage temperaturen die op de manen van Uranus heersen, is ijs (waaruit dat oppervlak vooral moet bestaan) bijzonder moeilijk te vervormen en evenmin is duidelijk waar de benodigde energie in zo'n kleine maan vandaan kan komen. Dr. B. Smith, hoofd van het Voyager Imaging Team en veteraan van

het onderzoek aan Mars, Jupiter, Saturnus en hun manen, noemde het oppervlak van Miranda dan ook terecht het meest bizarre dat hij ooit in het Zonnestelsel had gezien.

Ook de grotere manen Ariel en Titania tonen, zij het minder uitgesproken, groeven en terreinverschillen. Op Ariel vindt men verschillende lineaire breuken, die opmerkelijk genoeg zich niet in de valleien voortzetten die ook op de maan te zien zijn: wellicht is de bodem van de valleien opgevuld. Ariel wordt ook

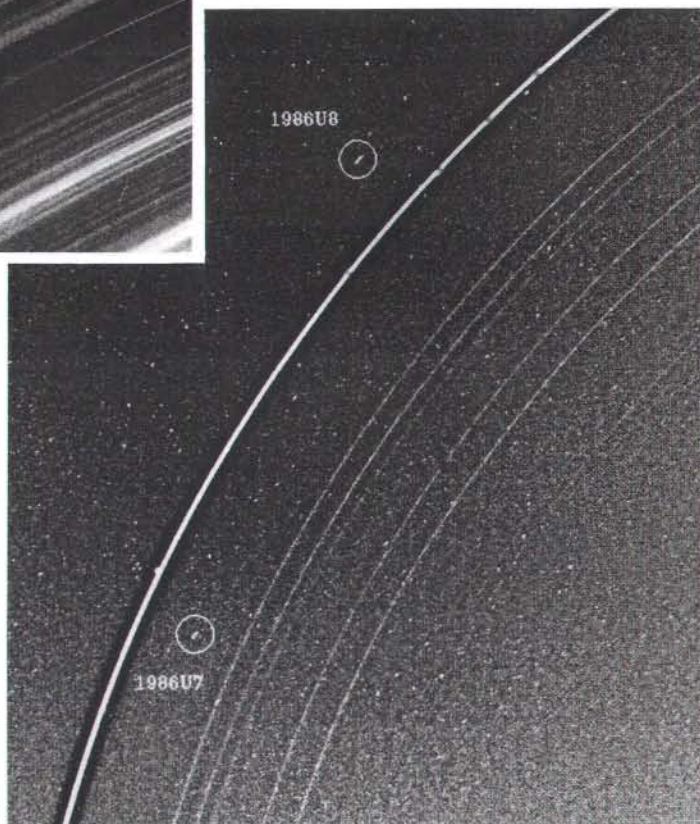
gekenmerkt door verschillen in bodemmateriaal waardoor het weerkaatsend vermogen van het oppervlak varieert van 25 tot 45 procent. In het algemeen lijkt het er op dat de inwendige activiteit van de manen minder is naarmate zij verder van Uranus staan. Dit is een mogelijke aanwijzing voor de aard van die activiteit. Hierbij denkt men aan de invloed van de getijdewerking van Uranus op de manen, maar hoe dat dan precies in zijn werk moet gaan is alleszins onzeker.



Boven: Een wel heel ander beeld van de ringen verkreeg de Voyager terugblikkend. In deze tegenlichtopname, op 236 000 km genomen, zijn vooral banden van kleine stofdeeltjes goed te zien. Deze met de Zon in de rug moeilijk zichtbare deeltjes tonen een gecompliceerd ringensysteem dat nu veel meer aan dat van Saturnus doet denken. Om bewegingsonscherpte tegen te gaan werd de Voyager tijdens de 96 seconden lange belichtingstijd langzaam meege draaid. Daardoor zijn de ringen scherp afgebeeld, maar de veel verder verwijderde sterren 'bewogen'.

Onder: De negen bekende ringen van Uranus, gezien van een afstand van 2,5 miljoen kilometer. Alleen de ϵ -ring is goed zichtbaar. De ringdeeltjes worden op hun plaats in de nauwe ring gehouden door twee 'herdershonden', de maantjes 1986U7 en -U8.

Rechts: Deze montage van verschillende beelden van de maan Miranda toont een gevarieerd oppervlak, dat inwendige activiteit suggereert. Behalve inslagkraters zijn breukgebieden te zien waar het oppervlak is samengedrukt of uitgerekt.





De maan Umbriel lijkt geheel bedekt te zijn door nogal donker materiaal (reflecterend vermogen 16 procent). Haar oppervlak is rijk aan inslagkraters en zij heeft in tegenstelling tot de andere manen geen lichte plekken op haar oppervlak. Wijst dit op een catastrofale gebeurtenis in haar verleden? Opnieuw niemand die daarover nu een uitspraak wil doen. Umbriel is wel heel donker, maar staat daarin niet alleen: ook de ringen reflecteren maar weinig licht. In het algemeen denkt men daarbij dan aan metaanijs, dat onder invloed van het zonlicht donker verkleurd is. Oberon tenslotte is eveneens rijk aan inslagkraters, vaak omgeven door (uitgeworpen?) licht materiaal. Wel heel merkwaardig is een 6 kilometer hoge berg, erg hoog voor zo'n kleine (1600 km diameter) maan.

Nieuwe manen

Kort nadat de Voyager de planeet Uranus voorbijvlog had men ook al een aantal nieuwe manen ontdekt: het waren er negen, met diameters variërend van 130 tot 15 km en op afstanden tot het planeetoppervlak van 24000 tot 60000 km. Hun omlooptijden variëren van 8 tot 18 uur; ook zij zijn alle vrij donker. Het is waarschijnlijk dat een verdere bewerking

van de Voyagerbeelden nog wel meer van dergelijke kleine maantjes zal opleveren.

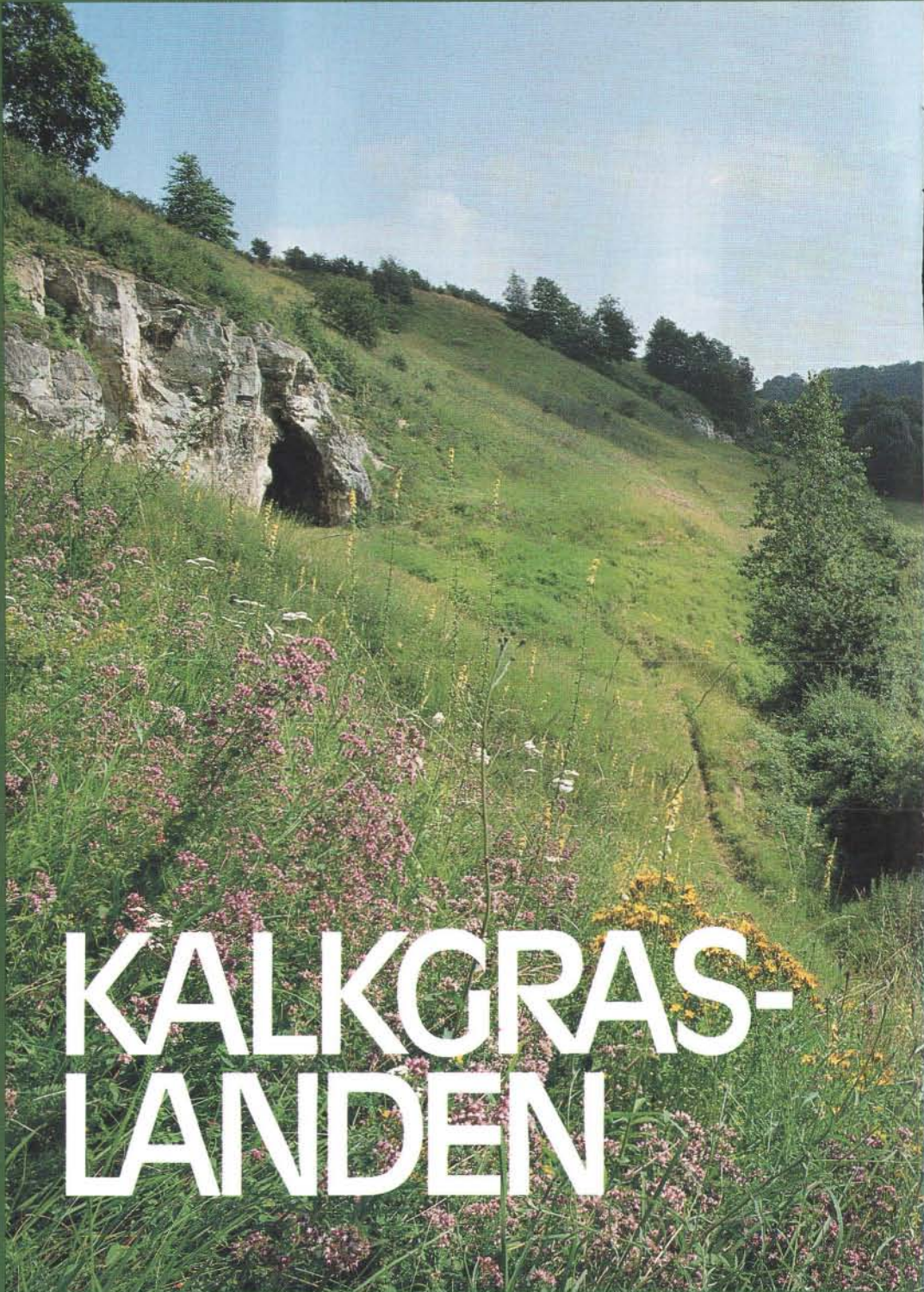
Met deze waarnemingen van Uranus is de actieve vlucht van de Voyager 2 nog niet afgelopen. Hij ligt momenteel op een koers naar een nog verder weg gelegen planeet, Neptunus, waar hij in 1989 zal aankomen. Als de apparatuur aan boord van de Voyager dan inderdaad nog werkt, zal ook deze planeet veel van zijn raadsels prijsgeven, om daar nieuwe raadsels voor in de plaats te stellen.

Literatuur

- Bodifée, G., (1986). *Satellieten en dubbelplaneten - De manen van het zonnestelsel*. Natuur en Techniek, 54, 1, pag. 18-29.
- Brown, R.H., Cruikshank, L.A., (1985). *The moons of Uranus, Neptune and Pluto*. Scientific American, juli, pag. 28-37.
- Dickel, John R., Pater, Imke de, (1983). *Uranus, Neptunus en Pluto. De onbekende buitenplaneten*. Natuur en Techniek, 51, 7, pag. 504-519.
- Israel, F.P., (1979). *Jupiter en zijn manen*. Natuur en Techniek, 47, 9, pag. 468-485.

Bronvermelding illustraties

NASA/Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, Californië.



KALKGRAS- LANDEN

H.P.M. Hillegers
Meerssen

Biotoop herschappen

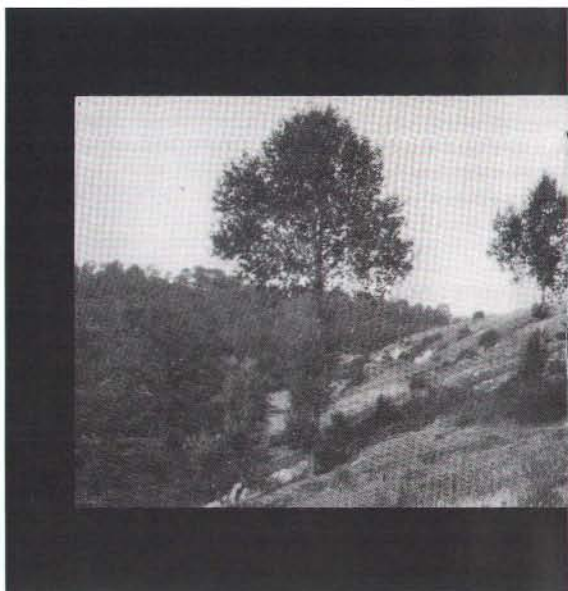
De kalkgraslanden, die her en der in Zuid-Limburg te vinden zijn, maken deel uit van een bedreigd biotoop. In de natuurlijke situatie is de grond droog en schraal. Extensief beheer werkte een grote soortenrijkdom in de hand. Nu dit biotoop te lijden heeft van een sterke teruggang in areaal en soortenrijkdom, moeten maatregelen ter restauratie genomen worden. Schapen spelen daarin een belangrijke rol.

De Bemelerberg (ca. 5 km ten oosten van Maastricht) is een markant voorbeeld van een kalkgrasland. Het betrekkelijk kleine gebied kent een grote verscheidenheid in flora en fauna. Voor sommige soorten is het de enige of de belangrijkste groeiplaats in Nederland. Bewust beheer vergroot de rijkdom alleen maar.



Amper vier jaar geleden werd in Straatsburg, de zetel van de Raad van Europa, een internationaal congres gehouden met als thema de zorgwekkende achteruitgang en floristische verpaupering van droge, schrale graslanden. Dit half-natuurlijke, door de mens en zijn weidende vee extensief benutte, soortenrijke biotoop blijkt in alle delen van Noordwest- en Centraal-Europa sterk af te nemen. Niet alleen haar areaal, ook haar diversiteit aan levensvormen wordt minder. Twee jaar geleden werd in Maastricht een symposium georganiseerd met betrekking tot hetzelfde biotoop (maar nu alleen het Zuidlimburgse) met als veelzeggende titel: 'Kalkgraslanden, beheren voor de toekomst.'

Terecht maakt men zich zorgen over het voortbestaan van dit biotoop: van de in Nederland rond 1900 nog aanwezige duingraslanden, heischrale graslanden, rivierduin- en kalkgraslanden is momenteel nog geen 5 procent meer over. Bovendien liep die diversiteit zorgwekkend achteruit in de nog resterende droge schraallanden, die als natuurreservaat aangekocht waren en waarin de oorspronkelijk aanwezige variatie aan levensvormen bewaard had moeten blijven. Dit artikel betreft de restauratie van droge, schrale graslanden in Zuid-Limburg, waarvan de bekende kalkgraslanden deel uitmaken.



Onder: Fig. 1. Deze kaart toont het patroon van een rivierdal met lintdorp en de daarachter en -boven liggende akkers en kalkgraslanden, dat in Zuid-Limburg veel gezien wordt en even typisch is als het brinkdorp dat is voor Drente. Tussen het dorp en de rivier zien we doorgaans alleen beemden met hooi. Hogerop akkers, schraallanden en kleine bossen.





Links: Deze twee foto's van de hei van Bemelen zijn in 1937 en in 1984 gemaakt. Let op de drie populieren die op beide voorkomen. Anno 1984 blijkt het wijde heidelandschap omgevormd te zijn tot een soorten-arm struweelbos.

Schraalland

In vroeger eeuwen heeft de Europese mens zijn directe leefmilieu dusdanig langzaam weten aan te passen aan zijn primaire levensbehoeften, dat er rond zijn nederzetting een min of meer stabiel ecosysteem ontstond. Voor Nederland heeft vooral het Drentse eco-toop de grote bekendheid gekregen; het brinkdorp met zijn groengronden langs de beek, de essen, de heide en de hakhoutbosjes waren noodzakelijke elementen in de gesloten agrarische bedrijfsvoering.

Ook de in Zuid-Limburg langs rivieren of beken gelegen nederzettingen beantwoordden vóór 1900 aan dit model (zij het in een iets gewijzigde vorm). Het lintdorp ligt aan de weg die het dal volgt en wel op de hoge oever daarvan. In het dal, dat jaarlijks wordt overstroomd, liggen de hooilanden, die onder andere het noodzakelijke wintervoedsel voor het vee leveren. Op de hoge oever, dicht bij het dorp, liggen de graanakkers, die vruchtbaar gehouden worden door de mest van het weidende vee dat elke avond naar de potstal terugkeert. Voor de koeien waren de beemden het meest geschikt; de schapen begraasden afwisselend de stoppelvelden na de oogst, de wegbermen maar vooral de droge, schrale graslan-

den op de steile hellingen van het plateau. Daar lagen ook de hakhoutbosjes van de gemeente. Op deze wijze benutte elke nederzetting 'zijn' dalsegment optimaal en identiek.

Belangrijk is in dit verband dat schraallanden nooit bemest werden. Het is dan ook duidelijk dat kunstmest, geïntroduceerd rond de eeuwwisseling, dit model tot in zijn grondvesten verstoord heeft.

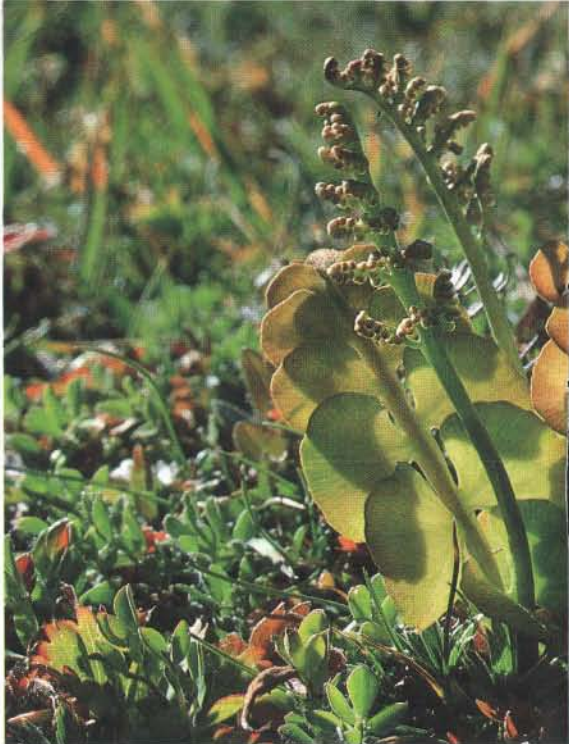
Droge schraallanden in Zuid-Limburg

Op de zeer gedetailleerde (schaal 1:25 000) Tranchot-von Müffling-kaarten, daterend uit de periode tussen 1803 en 1806 zijn de gemeente-schraallanden duidelijk herkenbaar. Ook uit toponiemen-(veldnamen)onderzoek is gebleken dat elke nederzetting zijn eigen droog schraalland bezat dat, al naar gelang de ligging ten opzichte van taalgrenzen in Zuid-Limburg, *hèj*, *hei*, *hoi*, *hé*, of *heid* genoemd werd. Ook de verkleinwoorden *hètsje*, *hetje*, *hitje* of *het-teke* komen voor. Vaak wordt een 'hei'-toponiem voorafgegaan door een nederzettingsnaam zoals bijvoorbeeld 'Ambyerhei' of 'Mescherhei', hetgeen het gemeenschappelijk karakter nog eens onderstreept. Bovendien kon een nederzetting meerdere gemeenteheiden bezitten. Bemelen, eens de kleinste ge-

meente in Nederland, bezat 'de Hei' (momenteel Natuurreservaat de Bemelerberg) naast de 'Plathei' en 't Hetje'. Het omgekeerde kwam echter ook voor: de legendarische Graethei bijvoorbeeld was het gemeenschappelijk eigendom van veertien daaromheen gelegen nederzettingen.

Geomorfologisch gezien zijn er drie verschillende typen heiden te onderscheiden: plateaurandheiden langs de dalranden van de Maas, Geul en Gulp; plateauheiden in het noorden, noordoosten en zuidoosten en plateauheiden, uitsluitend ten zuiden van Heerlen. De bodems waarop deze heiden voorkwamen varieerden evenzeer: zanden en grinden van verschillende ouderdom en samenstelling, vuursteeneluvium, kleefarde, nauwelijks verweerde kalksteenbodems en zelfs de zo vruchtbare löss.

Zoals uit het bovenstaande blijkt zijn de Zuidlimburgse gemeenteheden verre van ho-



Orchideeën in kalkgraslanden

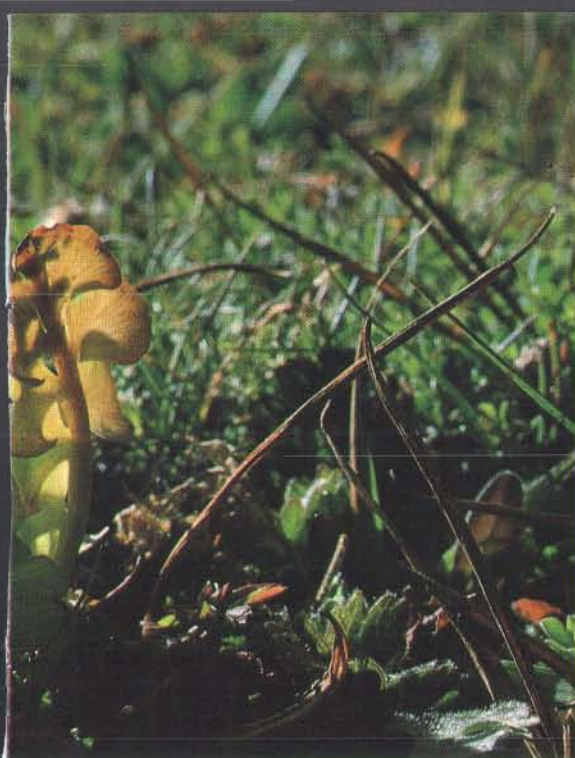
Orchideeën zijn de lievelingen van het grote publiek en terecht. Door hun bizarre bloembouw, kleur, hun uiterst ingewikkelde bestuivingsmechanismen, hun symbiose met bepaalde schimmels en hun onvoorspelbare 'komen en gaan' in natuurlijk aandoende vegetaties, zijn orchideeën dankbare objecten voor grote groepen natuurliefhebbers.

Van geen andere groep bloemplanten is de verspreiding in de kalkgraslanden zo goed bekend; er zijn al vermeldingen uit het begin van de vorige eeuw!

Door al deze informatie kunnen we ons nu een goed beeld vormen van hun ecologisch 'gedrag' in ruimte en tijd. Orchideeën blijken gradientsoorten te zijn van halfnatuurlijke milieus zoals hakhoutbossen, beweidde schraallanden en onbemeste hooilanden. In de ruimte prefereren ze overgangen (= zomen) van het ene vegetatietype naar het andere; in de tijd een bepaald stadium in de successie. Ze reageren positief op een zekere lichte vorm van storing in hun milieu zoals even hakken, extensief beweiden of de bodem licht omwoelen. Aangezien onze half-natuurlijke landschappen met hun daarbij passend extensief beheer in deze tijd zo goed als geheel verdwenen



Twee orchideeënsoorten die men op de kalkgraslanden kan aantreffen zijn de poppenorchis (*Acera's anthropophorum*, links) en de fuchsorchis.



Links: Een fraaie bewoner van het schrale kalkgrasland is het maanvarentje *Botrychium bunaria*. Hij leek twaalf jaar geleden uitgestorven te zijn, maar wordt nu weer op verschillende plaatsen gevonden.

Onder: De beemdtkroon (*Knautia arvensis*) komt vrij veel voor op de kalkgraslanden, maar is niet typisch voor dit biotoop.



zijn, is het duidelijk dat het voortbestaan van deze interessante organismen alleen nog in die reservaten kan worden gegarandeerd waar het vertrouwde, traditionele beheer nog wordt toegepast. Dat ook daar orchideeën verdwijnen is niet alleen het gevolg van het ontbreken van het ouderwetse beheer; graafgrage mensenhanden hebben daartoe ook bijgedragen.

Inheemse orchideeën, overgeplant in een gewone stadstuin hebben (o.a. door de ingewikkelde symbiose met de wortelschimmel) geen schijn van kans te overleven. Het omgekeerde van uitgraven komt ook – helaas – voor: menige bokkenorchis is door een misschien het goed bedoelende natuurliefhebber, maar op onterechte manier (en bovendien wettelijk strafbaar) overgeplant van een Zuidfrans naar een Zuidlimburgs kalkgrasland.

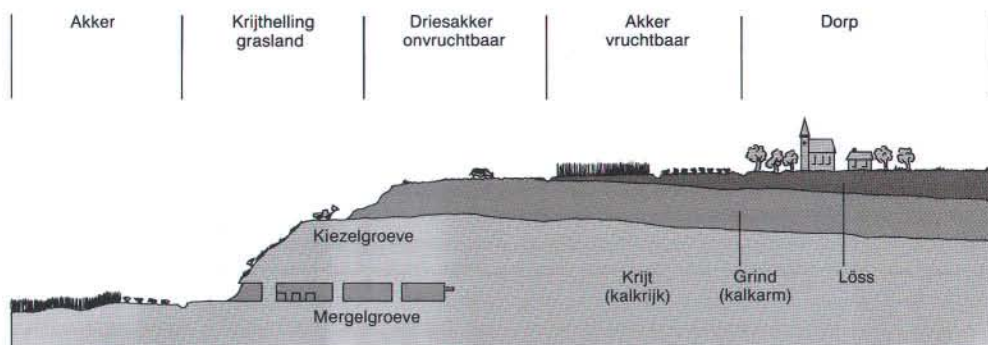
Extensieve beweiding met Mergellandschapen, de eerste proeven hebben dit al kunnen aantonen, zal in de toekomst een bijdrage kunnen leveren bij het in stand houden en uitbreiden van deze zo gewaardeerde kalkgraslandorganismen.

mogeen en bepaald niet zo uniform als de door de paarsbloeiende struikheideplant gedomineerde vegetaties, die bekend zijn van de arme zandgronden van de Brabantse Kempen en de oostelijke provincies van Nederland. In de kalkgraslanden (krijthellinggraslanden) ontbreekt de in andere heiden zo typerende struikheide (*Calluna vulgaris*)!

Kalkgraslanden

Functioneel gezien ressorteren kalkgraslanden dus onder de 'heiden', in de zin van extensief beweidde, droge schraallanden, in eigendom van de gemeente. Echter, sommige kalkgraslanden hebben een andere oorsprong en zijn ontstaan uit zogenaamde driesakkers. Dit zijn stenige, zandige of kiezelhoudende, in elk geval onvruchtbare akkers die om die reden periodiek braak (= dries) moesten liggen. De tijdens deze braakperiode opgebouwde humuslaag vormde een soort groenbemesting voor de daaropvolgende roggeteelt. Ook deze driesakkers werden tijdens de braak en na de oogst beweid door trekkende schapenkuddes.

Beide typen kalkgrasland herbergen zoveel aparte, tot dit biotoop beperkte en dus voor Nederland zeer zeldzame organismen, dat het gebruik van de termen kalkgrasland of krijt-



Boven: Fig. 2. Deze figuur geeft een overzicht van de opbouw van de bodem en de verschillende gebruiksvormen daarvan. Op veel plaatsen in Zuid-Limburg, waaronder de Bemelerberg, zijn nog de restanten van oude kiezel- en mergelgroeven terug te vinden. De driesakkers zijn veel minder vruchtbaar dan de overige akkers en lagen daarom regelmatig braak. Sommige kalkgraslanden zijn uit deze driesakkers ontstaan.

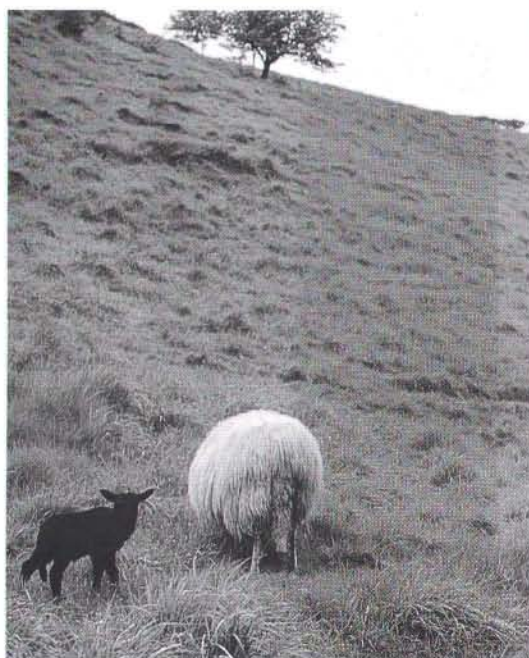
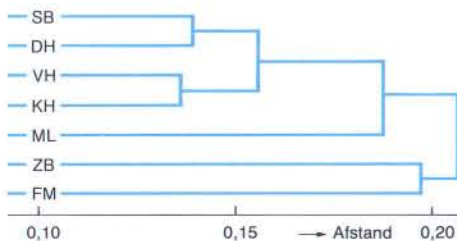
hellinggrasland zeker zinvol is. Tot deze organismen behoren diverse soorten orchideeën en andere bloemplanten, waarvan het centrum van hun verspreiding in Zuid- of Centraal-Europa ligt en die in ons gebied hun noordwestgrens bereiken. Hetzelfde geldt voor tien-

Bloedgroeponderzoek bij schaperassen

INTERMEZZO II

Omdat veel voorkomende schaperassen een onderling nogal sterk van elkaar afwijkend uiterlijk (verschillend fenotype) bezitten, mag men veronderstellen dat zij ook in bepaalde erfelijke eigenschappen van elkaar afwijken. Dit veronderstelde genotypische verschil heeft men onlangs kunnen aantonen met behulp van een aantal bloedgroepfactoren.

Dit onderzoek heeft bij menselijke populaties vele gegevens opgeleverd: dank zij die kennis kan men nu zonder complicaties het bloed van een 'donor' toedienen aan een passende 'acceptor'. Tevens heeft dit onderzoek geleid tot het vaststellen van genetische wetmatigheden en het



tallen *thermofiele* (warmteminnende) soorten kevers, vlinders, spinnen, slakken, sprinkhanen enz.

Na de verwerving van een aantal overgebleven kalkgraslanden rond 1950 door natuurbeschermende instanties, werden zij niet meer op de oorspronkelijke manier beheerd. De schapenkuddes waren merendeels vóór 1925 verdwenen, waardoor de herinnering aan de voormalige, extensieve beweiding geheel verloren was gegaan. Het idee de zomerse bloemenzee te laten opvreten, ging menige natuurliefhebber van toen te ver.

De kalkgraslandreservaten bleven dus meest onbeheerd, een enkel werd zo goed en zo kwaad als dat kon (in verband met de aanwezigheid van stenen, molshopen, struiken en kuilen) machinaal gemaaid en/of in het voorjaar gebrand. Mede daardoor verdween de bloemenzee en maakte plaats voor bepaalde grassen die in de loop der jaren een steeds dichter wordende vegetatiemat vormden. Ook

andere oorzaken zoals de instroom of 'inwaai' van kunst- of drijfmeststoffen, afkomstig van de aangrenzende cultuurgonden en het recente verschijnsel van zure regen hebben de snelheid der natuurlijke successie van kalkgraslanden opgevoerd.

Het Mergellandschap

Schaperassen kunnen grofweg verdeeld worden in twee groepen: cultuur- en landrassen. De eerste zijn recent ontstaan door zorgvuldige en snelle selectie van hoogproductieve dieren. Ze hebben een uniform uiterlijk en bezitten een genetisch smalle basis waardoor inteeltverschijnselen kunnen voorkomen. Landrassen daarentegen hebben vaak een respectabele ouderdom en zijn door halfnatuurlijke selectie in een bepaald gebied ontstaan. Hun uiterlijk varieert als gevolg van hun genetisch bredere basis waardoor inteeltverschijnselen niet voorkomen. Cultuurrassen zijn geschikt

Links: Mergellandschapen op de Bemelerberg dragen bij aan de verrijking van dit gebied.

Linksonder: Fig. II-1. In dit schema is de genetische afstand tussen een aantal schaperassen afgebeeld. De afstand wordt aangegeven met een maat tussen 0 en 1. De verticale lijnen geven de gevonden waarden; zo is de afstand tussen SB en DH 0,139. Er zijn duidelijk clusters van verwante rassen te onderscheiden, bijvoorbeeld VH en KH of ZB en FM.

opstellen van raskenmerken die voor de antropoloog belangrijk zijn.

De onderstaande gegevens hebben slechts betrekking op de relatieve verwantschap tussen zeven zeldzame Nederlandse schaperassen. Er werden 40 bloedgroepfactoren onderzocht. De frequentie daarvan per ras werd vastgesteld en vervolgens met elk ander ras vergeleken. Deze cijfers kunnen als volgt geïnterpreteerd worden. Beide in Drente voorkomende rassen, het Drents heideschaap (DH) en de Schoonebeker (SB) vertonen onderling weinig genetische verschillen (d.w.z. hun verwantschap is hoog). Datzelfde gegeven geldt voor de in Midden-Nederland voorkomende Veluwe (VH) en Kempische (KH) heideschapen. De vier genoemde rassen zijn heiderassen en komen in kuddeverband voor. Zij vertonen meer verwantschap onderling dan met de overige rassen die in de tabel voorkomen. Van deze groep zijn er twee, het Zwartblesschaap (ZB) en het Friese melkschaap (FM) die als weideschaap bekend staan en nooit in kuddeverband gehouden werden. Het Mergellandschaap (ML) neemt een tussenpositie in.



voor de bio-industrie: de Texelaar – het Nederlands cultuurras bij uitstek – maakt dan ook meer dan 90 procent uit van het Nederlandse schapenbestand.

De minder produktieve (maar om andere redenen minstens even waardevolle) landrassen waren enige jaren geleden dusdanig in aantal achteruitgegaan dat de Stichting Zeldzame Huisdieren in het leven is geroepen om hun voortbestaan te garanderen. Tot de landrassen in de Benelux behoren o.a. de melkschapen (Vlaams en Fries) en de heideschapen: het Drents, Veluws, Kempisch en 'Zuidlimburgs' heideschaap. Het laatstgenoemde ras, dat zijn oorsprong had in de streek binnen de steden-driehoek Luik-Aken-Maastricht, wordt nu Mergellandschaap genoemd.

Heideschapen blijken taaie sobere dieren. Hun praktische waarde ligt hoog: voedseltekorten zijn zeldzaam, geboorte- en ziekteproblemen zijn beperkt. Het is dan ook daar-

Onder: De knolboterbloem *Ranunculus bulbosus* is niet specifiek voor het kalkgrasland, maar wordt er wel vaak aangetroffen.



Paddestoelen van een droog schraalland

Paddestoelen zijn de bovengrondse 'vrucht'lichamen van schimmels, die een saprofytische levenswijze bezitten, dat wil zeggen ze onttrekken voedingsstoffen van humus in de bodem. Vele soorten blijken echter zeer kieskeurig te zijn ten aanzien van die humus. Van soorten uit het geslacht *Hygrocybe* (wasplaat) is daarvan meer bekend. Waspla-

ten zijn door hun fel gekleurde hoeden 'fotogenieke' objecten en karakteristiek voor droge schraallanden. Elke wasplatensoort heeft daarbinnen zijn eigen niche.

Gezien de enorme afname van het areaal schraalland is het niet verwonderlijk dat wasplaten bepaald zeldzaam geworden zijn. Verheugend is het daarom dat onder invloed van extensieve beweiding het aantal wasplaten sterk toeneemt.

Van de al eerder genoemde Bemelerberg waren er vóór 1979, toen het beheer uit 'branden' of 'niets doen' bestond, slechts twee soorten bekend. In november 1984 werden 22 soorten waargenomen. De Bemelerberg is hierdoor het aan wasplaatsoorten rijkste terrein in Nederland geworden. Eenzelfde plotselinge toename geldt ook voor andere schrale-graslandpaddestoelen die ook rijkelijk op de Bemelerberg voorkomen.



Op de Bemelerberg komen minstens 100 soorten paddestoelen voor. De wasplaten van het geslacht *Hygrocybe* nemen daarbij met 22 soorten een belangrijke plaats in.



Geheel boven: De kruisdistel *Eryngium campestre* krijgt de kans op kalkgraslanden waar schapen grazen. Om voor de hand liggende redenen lusten ze deze plant niet. Maar de schapen eten wel snelgroeiende soorten, die anders de groei van deze plant zouden belemmeren.

Rechtsboven: De hondstong (*Cynoglossum officinale*) wordt in kalkgraslanden vaak aangetroffen op puinhellingen met een kruimelige en zeer kalkrijke bodem. De stekelige vruchten blijven hangen aan de schapevacht en worden op die manier verspreid.

Boven: Het mergellandschap is een zeer handelbaar dier dat weinig eisen stelt. Een van de voordelen van dit ras boven andere is dat het aflammeren doorgaans zonder complicaties verloopt.

om dat de instanties die natuurgebieden in beheer hebben, graag gebruik maken van deze landrassen. Ook in Zuid-Limburg, waar ze, ingesloten in rasters met een (zeer geringe) beweidingsdruk van 1,5 dier per ha per jaar, zorg dragen voor het beheer van een zestal natuurreservaten.

Effecten van beweiding

Extensieve beweiding, dat wil zeggen met een beweidingsdruk van slechts 1,5 dier per ha per jaar, leidt na enige jaren tot een algemene verhoging van de diversiteit in een schraalland dat een aantal jaren geen actief beheer heeft gekend. Al na een jaar verandert de structuur van de vegetatie. De aanvankelijk homogeen vervulde grasmat lost zich op in mozaïeken van open, kortgrazige delen en delen die langgrazig en minder sterk beweid zijn. Vermoedelijk wordt het herhaaldelijk gegeten jonge bladweefsel geprefereerd boven het oudere weefsel door hun andere eiwit-cellulose verhouding. Op hellingen ontstaan paadjes parallel aan de hoogtelijnen die als 'vetrappen' bekend zijn (zie fig. 3).

Op open, droge, zonnige plekken of in de beschutting van struweel (afhankelijk van de weersomstandigheden) wordt de vegetatie

De Jeneverbes . . . uitgestorven in onze kalkgraslanden

Een van de meest markante levensvormen van de droge schraallanden, ook voor leke-ogen, is of liever was, de 'Wacholder' (wachthouder). Deze deed inderdaad zijn naam eer aan; roerloze, manshoge figuren in groepen voorkomend, die lijken af te dalen van de steile grazige hellingen. Zo lijkt dat in de 'Wacholderschutzgebiete' van onze oosterburen in de Eifel.

De Jeneverbes (*Juniperus communis*), eens zeer algemeen in Europese schraallanden, van de duingraslanden tot in de almen van het hooggebergte, nam in de volkskunde een bijzondere plaats in. In Zuid-Limburg, waar hij vroeger blijkens oude opgaven algemeen was (zie fig. IV-1), leeft hij nog voort in toponieme veldnamen als *Wakelder*, *Woukelder*, *Wrakel* of *Wageler*. De bes werd gebruikt om 'jenever' en zuurkool op smaak te brengen, het harsige hout om varkenshammen te roken en te conserveren. Aftreksels van bessen, naalden of schors dienden om legio kwaaltjes te genezen. Daarnaast speelde deze altijdgroene boom in het volksgeloof een rol als dodenboom en het is dus niet toevallig dat ook nu nog de jeneverbes vele malen talrijker is op kerkhoven dan in droge schraallanden!

De harsige smaak, de prikkende naalden en de taaiheid der takken bleken honderden jaren effectief tegen de vraat van de dorpskudde; maar tegen kunstmest, schaalvergroting, opzettelijke of spontane bebossing, vuur of konijnnetanden was dit taai kruid toch niet opgewassen. De jeneverbes is dan ook uit het kalkgrasland verdwenen.

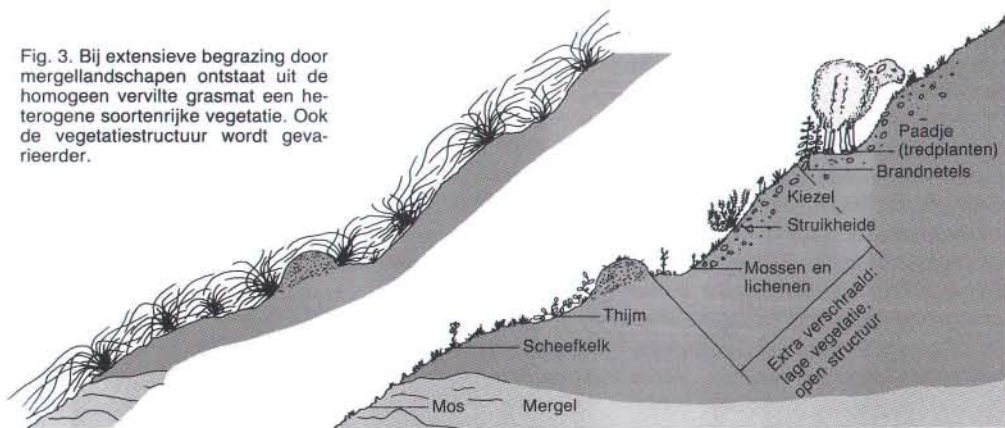


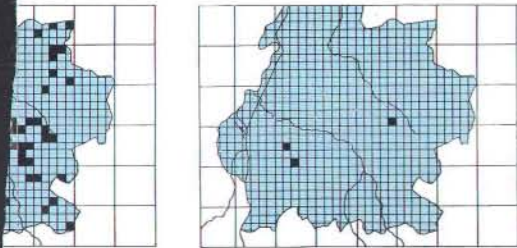
Boven: Deze oude opname van de Meersserhei toont nog wat jeneverbesstruiken.

Rechts: Fig. IV-1. Op deze kaartjes is aangegeven waar de jeneverbes in 1925 en in 1975 nog voorkomt. Een kaartje voor 1986 zou geheel blanco zijn.



Fig. 3. Bij extensieve begrazing door mergellandschappen ontstaat uit de homogene vervulde grasmat een heterogene soortenrijke vegetatie. Ook de vegetatiestructuur wordt gevarieerder.





platgetrapt en neergedrukt, omdat de schapen hier rusten om hun voedsel te herkauwen. Daar ontstaan mestconcentraties. Door al deze verschillende activiteiten, die constant blijken, ontstaan permanent blijvende microverschillen in het milieu, waar de flora (en op haar beurt de fauna) op reageert.

Vooral kruiden nemen toe als gevolg van het zich openen van de vegetatiestructuur. Het zijn vooral één- en tweejarige soorten die hiervan profiteren. Maar ook langzaam groeiende, meerjarige kruiden nemen langzaam toe, enerzijds omdat sneller groeiende grassen eerder worden geconsumeerd, anderzijds omdat veel van deze kruiden 'schaapresistente' eigenschappen blijken te bezitten; ze zijn minder smakelijk.

Daarnaast verzorgen de schapen ook de verspreiding van planten. Van minstens twintig soorten bloeiplanten is een exo-zoöchoor transport vastgesteld; dat wil zeggen dat hun zaden of vruchten middels weerhaakjes aan de vacht vastgezet meegevoerd en elders gedeponeerd worden. Ook endo-zoöchoor transport van zaden (zaden worden dan bij het grazen opgegeten en elders weer uitgescheiden) is bekend.

In vegetatiekundig opzicht zijn veranderingen pas duidelijk na enige jaren. De voor heischrale graslanden en kalkgraslanden karakteristieke soortencombinaties nemen toe in aantal en areaal, waardoor inderdaad van een reconstructie van de oorspronkelijke vegetatie gesproken kan worden.

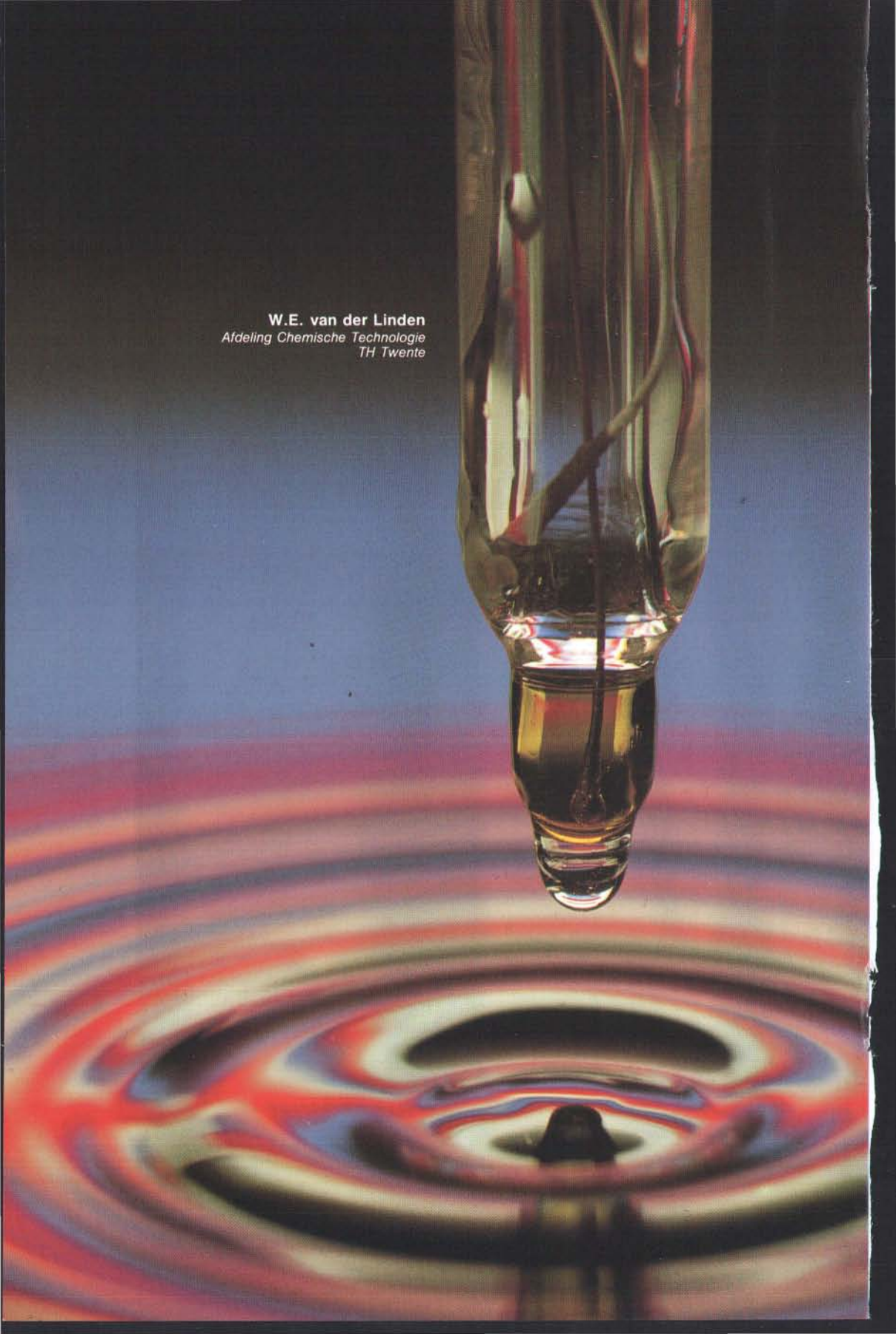
Literatuur

- Buis, R.C., (1982). *Genetische afstand tussen zeldzame schapenrassen*. Zeldzaam Huisdier 7, 2, pag. 60-64.
 Buth, G.J.C., (1984). *Kolonisatie en successie*. — *Wisselen de plantengroei in een natuurgebied*. Natuur en Techniek, 52, 12, pag. 962-977.
 De Smidt, J.T., Berdowski, J.J.M., Brunsting, A.M.H., Heil, G.W. en Zeilinga, R., (1984). *Hedendaags heidebeheer*. Natuur en Techniek, 52, 9, pag. 690-708.
 Hillegers, H.P.M. (red.), (1985). *De Bemelerberg*. Publicaties van het Natuurhistorisch Genootschap in Limburg. Reeks XXXIV afl. 1-5. Maastricht.
 Nieuwenhoven, P.J. van (red), (1978). *Ontdek het Mergelland*. IVN/VARA, Amsterdam/Hilversum.

Bronvermelding illustraties

- Chiel Westra, Hilversum: pag. 264-265.
 Natuurhistorisch Genootschap Limburg, Maastricht: pag. 266-267.
 Dick Klees, Duiven: pag. 268, 269, 272-273.
 Tom Kortbeek, Maastricht: pag. 270-271, 273 (rechtsboven).
 Alle overige illustraties komen van de auteur.

W.E. van der Linden
*Afdeling Chemische Technologie
TH Twente*



METEN MET SPANNING

Elektrochemische analyse

Met elektroden kunnen in een oplossing stroom, spanning, weerstand en lading worden gemeten. De gevonden waarden vertonen vaak een directe samenhang met de hoeveelheid en de aard van de opgeloste stoffen. De metingen kunnen dan gebruikt worden voor chemische analyses. Het bekendste voorbeeld is, naast de beroemde calomelelektrode in het laboratorium, het SO₂-snuffelpalennet dat de zwaveldioxideconcentraties in de lucht meet. De klassieke elektroanalyse heeft zich de laatste vijftien jaar stormachtig ontwikkeld. Dat kwam doordat nieuwe elektrodematerialen beschikbaar kwamen en door het gebruik van microprocessors. Aantrekkelijke voordelen van de elektroanalytische bepalingen zijn de eenvoudige meetwijzen en de zeer lage stromen die nog gemeten kunnen worden. Tot 10^{-9} A is mogelijk, wat overeenkomst met 10^{-14} mol·sec⁻¹.

De grondslagen en toepassingen van een aantal elektrochemische analysemethoden stammen al uit de vorige eeuw. De elektrochemie als zelfstandige wetenschap ontstond zo omstreeks de eeuwwisseling. Mensen als Nernst, Planck en Ostwald stonden aan de wieg ervan. Zij konden met behulp van de thermodynamica theoretische verbanden aangeven tussen de concentratie aan opgeloste stoffen en de potentiaalsprong die optreedt aan een grensvlak van een elektrode en oplossing (zie Intermezzo I) en aan het grensvlak van twee oplossingen (zie Intermezzo II).

De klassieke thermodynamische afleidingen gaan uit van het feit dat de processen zich via thermodynamisch reversibele, dat wil zeggen oneindig langzame stappen, als een aaneenschakeling van evenwichtstoestanden, voltrekken. Spitsen we dit toe op de elektrodeprocessen, dan betekent deze beperking dat er geen meetbare nettostroom door het grensvlak mag lopen. Wanneer we elektrodeprocessen echter beschrijven op basis van algemene vergelijkingen voor reactiesnelheden, dan kennen we een dergelijke beperking niet. Bovendien krijgen we hierdoor wat meer inzicht in het verloop op moleculaire schaal.

Elektronenoverdracht

Elke chemische omzetting van reactant tot produkt verloopt via een tussentoestand die een hogere energieinhoud heeft (fig. 1). Hoe hoger de top van de energieberg des te moeilijker zullen de reagerende molekulen in de tussentoestand geraken en des te langzamer zal de reactie verlopen. Temperatuurverhoging zal deze kans daarentegen verhogen en zal daarom de reactie versnellen. Gaan we er bovendien nog van uit dat het aantal deeltjes dat per tijds-eenheid op de top komt evenredig is met het totaal beschikbare aantal deeltjes, de concentratie van de reactant, dan kunnen we de reactiesnelheid r in de volgende formule uitdrukken:

$$r = \text{constante} \times [\text{reactant}] \times e^{-\Delta G_A/RT}$$

[reactant] = concentratie aan reactant;

ΔG_A = activeringsenergie, dat is de toe te voegen energie om in de reactieve tussentoestand te komen.

Willen we nu invloed uitoefenen op de reac-

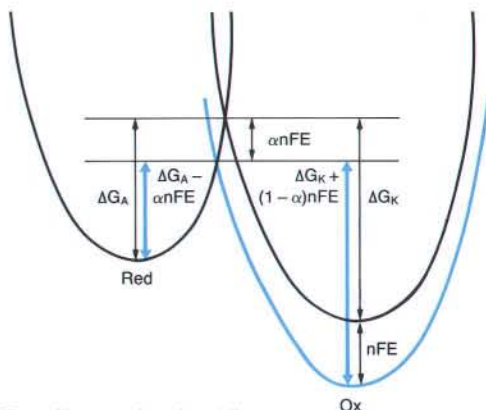
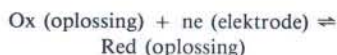


Fig. 1. Het energieverloop bij de omzetting van Red naar Ox, en omgekeerd. Een voorbeeld van een reactie $\text{Red} \rightarrow \text{Ox}$ is $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$.

Wet van Nernst

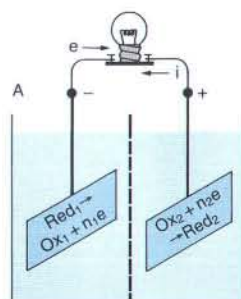
Aan het grensvlak van een elektronengeleider (elektrode) en een oplossing, die reduceerbare en/of oxideerbare ionen of molekulen bevat, kan een uitwisseling van elektronen plaatsvinden:



(n is het aantal elektronen dat per deeltje wordt overgedragen.)

Combineren we twee van dergelijke elektrode-oplossingsystemen, dan ontstaat er een *elektrochemische cel* (fig. I-1), waarvan de totale celreactie geschreven kan worden als:

Fig. I-1. De principes van de galvanische cel (A) en de elektrolytische cel (B).

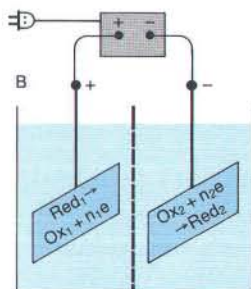


tiesnelheid, dan kunnen we dat doen door de temperatuur te variëren, we kunnen dit ook doen door invloed uit te oefenen op de tussen-toestand. Daarin ligt de sleutel voor de werking van katalysatoren die de activeringsenergieberg opsplitsen in meerdere lagere bergjes. Het aardige van de *elektrochemie* is nu, dat in het geval van elektronenoverdrachtsreacties aan elektroden de reactiesnelheden gestuurd kunnen worden door het spanningsverschil over de elektroden te wijzigen. Gaan we er bijvoorbeeld van uit dat de reactant een deeltje is met lagere valentie dan het produkt, dan zal er per mol een hoeveelheid negatieve lading in de vorm van elektronen het potentiaalverschil (E) tussen de elektrode en oplossing moeten passeren. Als de waarde van E positief is, betekent dat dat er in de eindtoestand een hoeveelheid

elektrische energie gewonnen is ter waarde van nFE (zie Intermezzo I). In figuur 1 komt dit tot uitdrukking doordat het eindniveau met dit bedrag wordt verlaagd. Dit betekent niet dat een even grote daling in energie van de tussen-toestand optreedt: doorgaans zal dit slechts een fractie α daarvan zijn (N.B. in de praktijk blijkt α vaak in de buurt van de waarde 0,5 te liggen). Voor de hier beschreven oxidatiereactie komt dit erop neer dat de effectieve activeringsenergie met een bedrag αnFE is verlaagd, waardoor de reactiesnelheid met een factor $e^{\alpha nFE/RT}$ toeneemt. Laten we de reactie in omgekeerde richting verlopen, bekijken we dus de reductie van een geoxideerd deeltje (Ox-deeltje) aan een elektrode met dezelfde positieve potentiaal, dan zal de activeringsenergie voor deze reductiereactie toenemen met een bedrag



Om te voorkomen dat componenten van de beide systemen rechtstreeks met elkaar reageren, kunnen zij gescheiden worden door een *diafragma*. Dit is bijvoorbeeld een poreuze scheidingswand die wel vloeistofcontact tussen beide oplossingen toelaat, maar directe menging voorkomt. Er kunnen nu twee gevallen onderscheiden worden: of er loopt spontaan stroom bij kortsluiten van de twee elektroden, we spreken dan van een *galvanische cel* (bijvoorbeeld een accu die stroom levert), of er loopt alleen een stroom wanneer met een uitwendige spanningsbron een voldoende groot potentiaalverschil over de elektroden wordt aangelegd; er wordt dan van een *elektrolytische cel* gesproken (bijvoorbeeld het opladen van een accu). In het



eerste geval wordt chemische energie omgezet in elektrische energie, in het tweede geval heeft de omgekeerde omzetting plaats. Langs thermodynamische weg leidde Nernst af dat voor een elektrochemische cel in de evenwichtstoestand geldt:

$$E = E^\circ - \frac{RT}{n_1 n_2 F} \ln \frac{[\text{Ox}_1]^{n_2} [\text{Red}_2]^{n_1}}{[\text{Red}_1]^{n_2} [\text{Ox}_2]^{n_1}}$$

E = potentiaalverschil tussen de twee elektroden

E° = constante; standaard potentiaal

R = gasconstante

T = absolute temperatuur

F = constante van Faraday; 96 500 Coulomb, d.w.z. het getal van Avogadro maal de lading van een elektron

$\ln$ = natuurlijke logaritme = $2,303 \log$

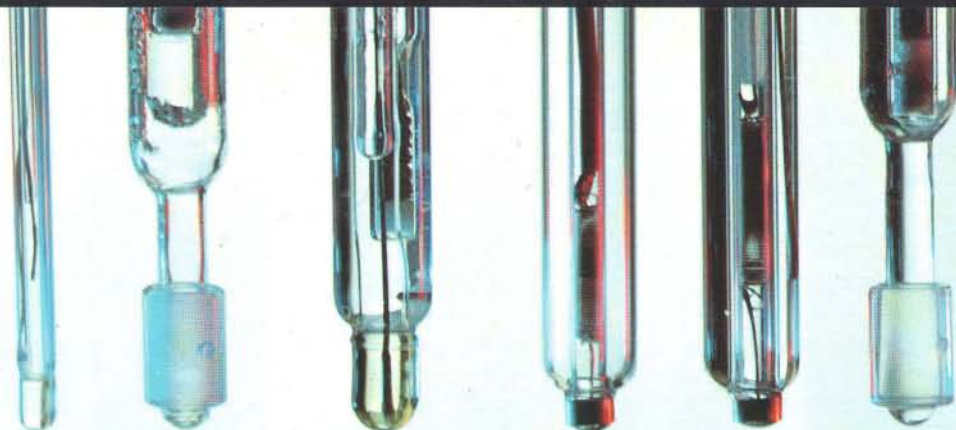
[...] = concentratie.

Hoewel de potentiaal van één elektrode niet gemeten kan worden, kunnen we deze vergelijking wel kunstmatig splitsen in twee delen die corresponderen met de twee halfcellen 1 en 2:

$$E = E_2 - E_1 = E_2^\circ + \frac{RT}{n_2 F} \ln \frac{[\text{Ox}_2]}{[\text{Red}_2]} - \left(E_1^\circ + \frac{RT}{n_1 F} \ln \frac{[\text{Ox}_1]}{[\text{Red}_1]} \right)$$

Voor één elektrode geldt dus algemeen:

$$E = E^\circ + \frac{RT}{nF} \ln \frac{[\text{Ox}]}{[\text{Red}]} \quad (\text{wet van Nernst}).$$



Rechts: Fig. 2. De dubbellaag van ionen die ontstaat aan het grensvlak van elektrode en oplossing. De figuur is ingezet in een foto waarop de zeer divers gevormde uiteinden van elektroden te zien zijn.



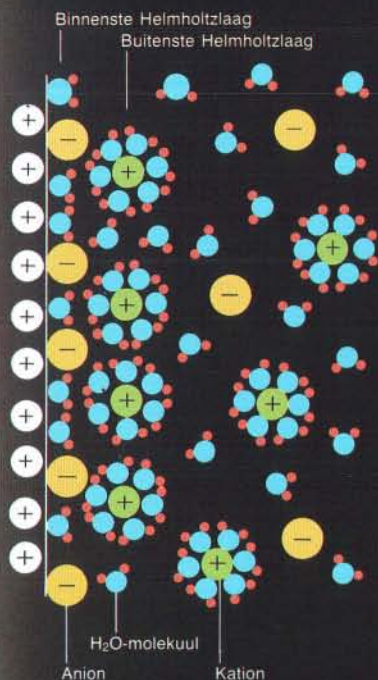
$(1 - \alpha) \times nFE/RT$. De snelheid neemt diensgevolge met een factor $e^{-(1 - \alpha)nFE/RT}$ af.

Voor een oplossing die zowel Ox- als Reddeeltjes bevat kan op deze wijze het verband tussen de over te dragen hoeveelheid elektronen per tijdseenheid, dus de stroom, en de potentiaal aan één elektrode worden afgeleid.

$$i = i_0 \left\{ \frac{[\text{Red}]e^{\alpha nF(E - E^\circ)/RT}}{[\text{Ox}]e^{-(1 - \alpha)nF(E - E^\circ)/RT}} \right\}$$

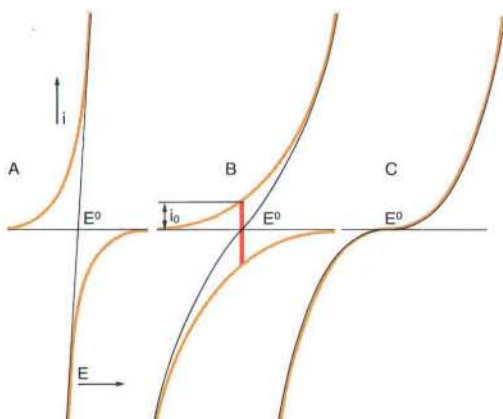
Waarbij i de stroomsterkte per oppervlakte-

eenheid is en i_0 de *uitwisselingsstroomdichtheid*. Deze is een maat voor de hoeveelheid elektronen die per tijdseenheid in de evenwichtstoestand wordt uitgewisseld. Het gaat hierbij dus om een dynamisch evenwicht! In figuur 3 zijn een aantal i - E -curven getekend voor verschillende waarden van i_0 . Voor het geval $i \approx 0$, voor verwaarloosbaar kleine stromen, vinden we uit bovenstaande vergelijking de Wet van Nernst terug. We zien echter ook uit figuur 3a dat — in het geval dat i_0 groot is — de potentiaal nauwelijks gaat afwijken als



van de te meten oplossing gescheiden door een diafragma. Bij zeer kleine waarden van i_0 (fig. 3c) moet de potentiaal sterk van de evenwichtspotentiaal gaan afwijken ($|E - E^0| \gg 0$) om een meetbare stroom te krijgen. Omgekeerd zal in dit geval een kleine stroom door het elektrode/oplossing-grensvlak zorgen voor een potentiaal die sterk afwijkt van de evenwichtspotentiaal: we zeggen dan dat de elektrode *gepolariseerd* is. Stroom-spanningscurven worden daarom wel polarisatie-curven of polarogrammen genoemd.

Onder: Fig. 3. Stroom-spanningscurven bij gelijke concentraties van Ox en Red. E^0 is de standaardpotentiaal. Van A naar C gaand verandert de grafiek door afname van de uitwisselingssnelheid van de elektronen.



er een stroom loopt en dat in dit geval de Wet van Nernst dus ook opgaat voor stroomvoerende situaties. Systemen met een grote i_0 -waarde dienen als uitgangspunt voor zgn. *referentie-elektroden*; voorbeelden zijn $\text{Hg}/\text{Hg}_2^{2+}$ en Ag/Ag^+ . In deze gevallen worden via het oplosbaarheidsproduct van het slecht-oplosbare Hg_2Cl_2 (= calomel) resp. AgCl , de ionenconcentratie van Hg_2^{2+} of Ag^+ constant gehouden door in de oplossing een vaste concentratie chloride te handhaven. Meestal wordt hiervoor KCl gebruikt. Deze oplossing wordt

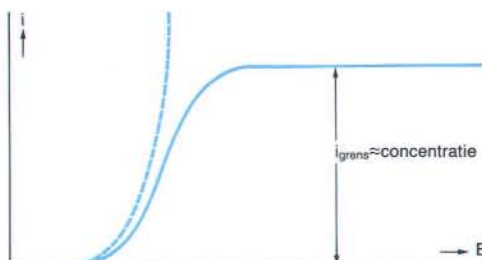
Transportverschijnselen

Wanneer we ons verder tot (matig) snelle elektronenoverdrachtsreacties beperken, dan zal bij een potentiaal die afwijkt van de evenwichtspotentiaal de oxidatie (als $E - E^0 > 0$) dan wel de reductie (als $E - E^0 < 0$) gaan overheersen. Aan het oppervlak zal dan in korte tijd een tekort aan reactant ontstaan. Het systeem zal trachten dit tekort aan te vullen, bijvoorbeeld door diffusie, om zo weer een gelijkmatige verdeling van de stof door de gehele



Boven: Het Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater heeft op zes plaatsen meetstations in de grote rivieren liggen. Daarin staan apparaten die automatisch en continu de kwaliteit van het oppervlaktewater registreren. In bijna alle gevallen zijn elektrochemische methoden in gebruik.

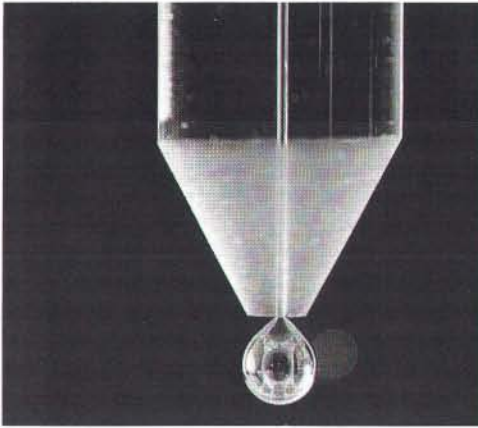
Rechtsboven: In het meetstation staat een apparaat dat concentraties zware metalen in het rivierwater meet met een polarografische methode.



oplossing te realiseren. Zolang de potentiaal niet al te sterk afwijkt, zal dit nog wel enigszins lukken, maar bij grotere afwijkingen kan de diffusie het niet meer bijbenen en nadert de effectieve concentratie aan het oppervlak tot nul. Dit betekent niet dat er dan geen omzetting meer kan plaatsvinden, maar dat elk deeltje dat bij de elektrode aankomt op hetzelfde ogenblik wordt omgezet. Vanaf dat moment wordt de stroomsterkte niet meer bepaald door de potentiaal maar door de transportsnelheid. In de stroom-spanningscurven zien we dan een plateau ontstaan: de *grensstroom* (fig. 4). Uit analytisch oogpunt is het nu plezierig dat zolang het transport in laatste instantie maar door diffusie wordt bepaald, er een evenredigheid bestaat tussen deze grensstroom en de concentratie in de 'bulk', de homogene rest van de oplossing. Een aantal analysemethoden die hierop berusten zullen in de volgende paragrafen de revue passeren. Eerst moet nog iets worden geschreven over de grenslaag tussen elektrode en oplossing, die soms een storende rol vervult.

TABEL Overzicht elektroanalytische methoden

Te meten grootheid	Methode
Potentiaal	Potentiometrie
EMK	
Klemspanning	Stroomvoerende potentiometrie
Stroomsterkte	Ampèrometrie
Lading	Coulometrie
Weerstand c.q. geleidend vermogen	Conductometrie
Stroom als functie van de spanning	Voltametrie (polarografie)



Boven: Een kwikdruppel, kleiner dan een speldeknop, in een polarografische elektrode. Vanuit het capillair in de glasbuis wordt steeds een nieuwe druppel gevormd.

Links: Fig. 4. De stroom (i) uitgezet tegen de spanning (E) aan het elektrodeoppervlak. Wanneer er geen beperkingen zijn aan het ionentransport naar het oppervlak bestaat het gestippelde verband. Bij diffusiebegrenzungen ontstaat een maximumwaarde die een maat is voor de concentratie.

Varianten

pH-meting

Meting met ion-selectieve elektroden

Meting met inerte elektroden: redox-metingen

Meting met 1 polariseerbare elektrode en 1 referentie-elektrode

Meting met 1 polariseerbare elektrode en 1 referentie-elektrode

Meting met 2 polariseerbare elektroden

Potentiostatische coulometrie

Amperostatische coulometrie

Laag frequent (1000 Hz)

Hoog frequent (ca. 1 MHz)

Normale gelijkstroom polarografie

Bemonsterde gelijkstroom polarografie

Normale puls polarografie

Differentiële puls polarografie

Vierkantsgolf polarografie

Wisselstroom polarografie

Cyclische voltammetrie

Dubbellaag

We hebben gezien dat er tussen elektrode en oplossing een potentiaalverschil bestaat dat in de evenwichtstoestand bepaald wordt door de concentratie van oxideerbare of reduceerbare deeltjes. Dit potentiaalverschil wordt aan het oppervlak in een dun laagje van enkele ionstralen overbrugd. Afhankelijk van het feit of de ionen in de oplossing in wisselwerking kunnen treden met de atomen van het elektrodeoppervlak (specifieke adsorptie) en/of de ionen door een mantel van oplosmiddelmoleculen zijn omgeven, kunnen de ionen meer of minder dicht tot het oppervlak naderen (zie fig. 2). Bedenk wel dat *alle* soorten ionen in de oplossing hier een rol spelen en niet alleen de ionen die elektronen opnemen of afstaan! We zien dat de lading op het elektrodeoppervlak vergezeld gaat van een opeenhoping van tegen-gestelde lading aan de zijde van de oplossing. Er vormt zich een soort condensator of elektrische dubbellaag. In een aantal elektrochemische analysemethoden speelt deze dubbellaag een vervelende rol omdat bij verandering van potentiaal of oppervlak, de 'condensator' zich moet aanpassen. Dit komt tot uiting in een stroom die gesuperponeerd wordt op de stroom van de elektronenoverdracht. Deze laatste stroomcomponent wordt meestal aangeduid als *Faraday-stroom*, de andere als capacatieve stroom of condensatorlaadstroom; de 'niet-Faraday'-component heeft geen directe relatie tot de concentratie van te meten componenten.

Elektroanalytische methoden

Uit het voorafgaande zal duidelijk zijn dat zowel de potentiaal van een elektrode als de stroom in verband gebracht kunnen worden met de concentratie van één of meer opgeloste stoffen. Wanneer uitsluitend één component in de oplossing volledig wordt omgezet, kan ook de totaal benodigde hoeveelheid lading voor de concentratie- of hoeveelheidsbepaling worden gebruikt. Voorts wordt de elektrische weerstand tussen de elektroden bepaald door de concentratie aan ionen. Met al deze elektrische grootheden zijn analytische methoden verbonden waarvan het merendeel weer is onder te verdelen in een groot aantal varianten (Tabel 1). Ik behandel drie voorbeelden.

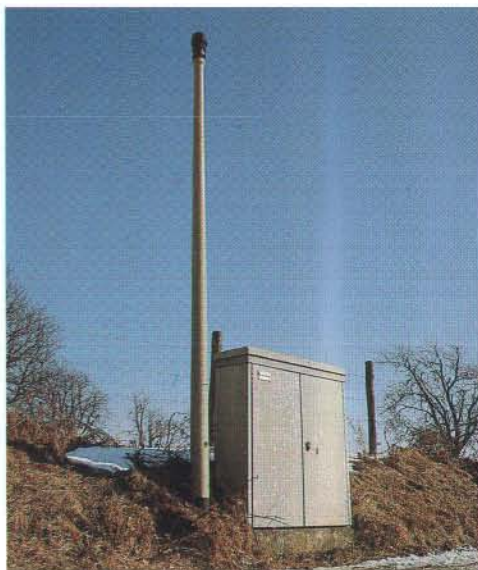
Grensvlakken

Niet alleen aan het grensvlak van een elektrode en een oplossing ontstaat er een potentiaalsprong, ook aan een grensvlak tussen twee willekeurige fasen die ionen bevatten kan zich een potentiaalverschil ontwikkelen ook al is er geen sprake van elektronenoverdracht. Dit verschijnsel werd al aan het eind van de vorige eeuw door Planck verklaard door aan te nemen dat ionen van de ene fase naar de andere fase kunnen diffunderen met verschillende snelheden. Hierdoor kunnen bijvoorbeeld negatieve ionen voor gaan lopen op de positieve ionen waardoor er een zekere mate van ladingsscheiding aan het grensvlak kan optreden. Het aldus ontstane potentiaalverschil zal een vertragende werking gaan uitoefenen op de snelst lopende ionen en juist de langzamer bewegende ionen versnellen. Na korte tijd stelt zich bij een bepaald potentiaalverschil een evenwicht in.

Het potentiaalverschil wordt vaak aangeduid als 'liquid-junction'-potentiaal of diffusiepotentiaal. Om de grenslaag tussen twee vloeibare fasen op z'n plaats te houden kan gebruik gemaakt worden van een poreus scheidingsvlak. Omdat K^+ - en Cl^- -ionen ongeveer gelijke beweeglijkheid hebben, wordt in de elektrochemie en de elektroanalyse veel gebruik gemaakt van KCl als het gaat om een noodzakelijke toevoeging van zout om de geleidbaarheid van een oplossing te verhogen.

Potentiometrie met ion-selectieve elektroden

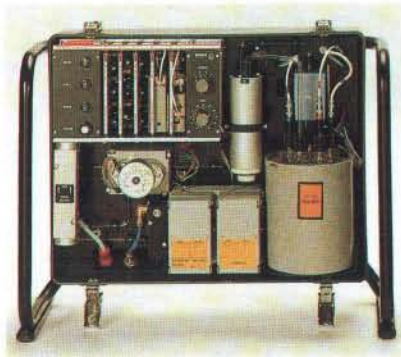
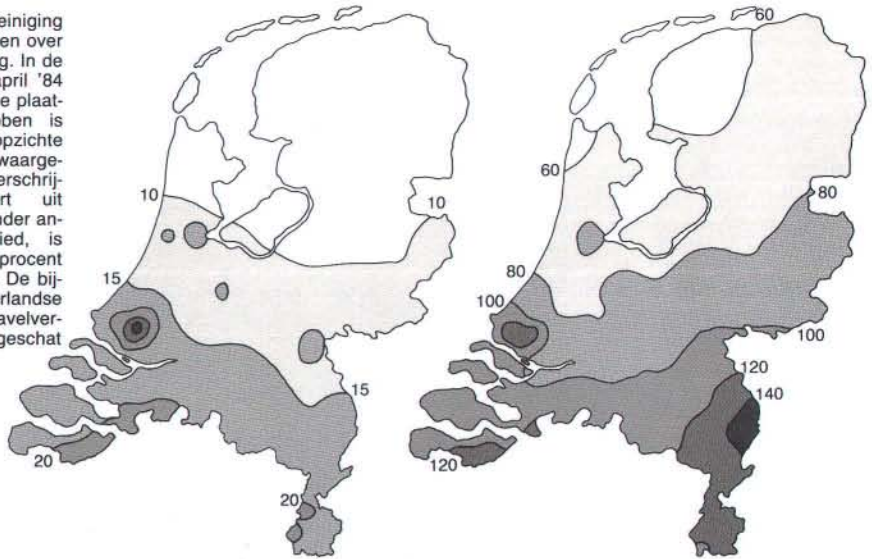
In 1904 stelde Cremer vast dat zich over een dun glasmaagje van bepaalde samenstelling een potentiaalverschil kan ontwikkelen dat afhangt van het verschil in pH tussen de oplossingen ter weerszijden van dit glasmembraan. Enkele jaren later onderzocht Haber dit verschijnsel verder en legde daarmee de grondslag voor de huidige pH-gevoelige glaselektrode. Hoewel lange tijd de indruk heeft bestaan dat dit potentiaalverschil ontstaat doordat H^+ -ionen door het glasmembraan diffunderen, is het nu wel duidelijk dat het proces zich in drie stappen voltrekt: (1) aan het grensvlak van glas en oplossing wisselen H^+ -ionen uit tegen



Geheel boven: Het Nederlands Nationaal Meetnet voor Luchtverontreiniging registreert concentraties SO_2 , NO , NO_2 , O_3 , CO en stofdeeltjes met een netwerk van grotere en kleinere meetstations. Op de foto het meetstation in een wegberm bij Noorbeek (Limburg). Deze 'snuffelpaal' meet alleen SO_2 . De coulometrische methode waarmee SO_2 (zie pag. 287) wordt gemeten wordt overigens verlaten. Begin deze maand is de helft van de SO_2 -monitoren vervangen door nieuwe die SO_2 meten met fluorescentieverschijnselen.

Boven: AKZO-Zout Chemie in Hengelo ontwikkelde een monitor voor het meten van de chloor-concentratie in lucht. Op de foto staat de mobiele variant, op het fabrieksterrein staan ook apparaten vast opgesteld.

De SO_2 -luchtverontreiniging in Nederland is, gezien over een aantal jaren, laag. In de periode april '83 - april '84 waarop bovenstaande plaatjes betrekking hebben is geen afname ten opzichte van een jaar eerder waargenomen. Het grensoverschrijdend SO_2 -transport uit oostelijke richting, onder andere het Ruhrgebied, is sinds 1980 met 13 procent per jaar afgenomen. De bijdrage van Nederlandse bronnen aan de zwavelverontreiniging wordt geschat op 25 procent.



Op beide kaartjes is de gemeten concentratie SO_2 in de periode april '83 - april '84 ingetekend. De getallen hebben als eenheid microgram per kubieke meter.

De linker afbeelding geeft de 50-percentielwaarden. Ze betekenen dat tijdens de helft van de 365 dagen in de meetperiode het daggemiddelde lager lag. Het plaatje rechts geeft de 98-percentielwaarden. Op 98 procent van de meetdagen was de daggemiddelde concentratie lager. De norm voor menselijke blootstelling is in Nederland $75 \mu\text{g.m}^{-3}$ voor de 50-percentielwaarde en $250 \mu\text{g.m}^{-3}$ voor 98-percentiel. De milieunorm is $30 \mu\text{g.m}^{-3}$ voor de 50-percentiel en $100 \mu\text{g.m}^{-3}$ voor de 98-percentielwaarden. In Zuid-Nederland wordt de 98-percentielnorm voor het milieu dus overschreden.

Links: Het oude type SO_2 -meter dat met een coulometrische methode continu metingen verrichtte, ingebouwd in snuffelpaalkasten.

Na^+ -ionen uit het glas, (2) Na^+ -ionen diffunderen door de holten in het SiO_2 -skelet van het glas, (3) aan de andere zijde van het membraan wisselen Na^+ -ionen weer uit tegen H^+ -ionen. Dit verklaart waarom bij hoge Na^+ -concentraties in de oplossing een pH-elektrode Na^+ -gevoeligheid gaat vertonen: het uitwisselingsevenwicht aan het grensvlak wordt dan volledig door het natrium overheerst. Door nu variaties in de glassamenstelling aan te brengen kan dit effect versterkt worden, waardoor een natriumgevoelige elektrode ontstaat. Het is ook mogelijk glassamenstellingen te maken die enigmate selectief andere éénwaardige kationen transporteren, zoals bijvoorbeeld Li^+ , K^+ , Ag^+ of Tl^+ .

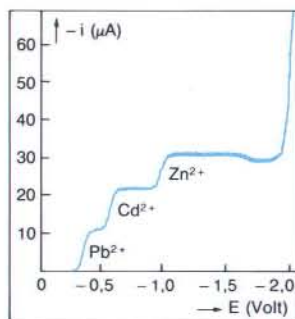
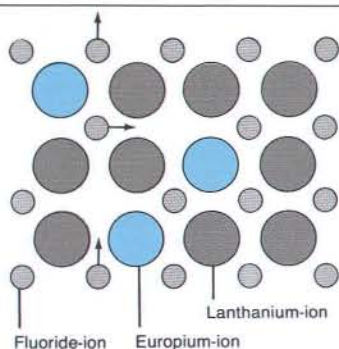
Tot zover de stand van zaken aan het begin van de zestiger jaren. Kort daarna zijn twee nieuwe typen membranen tot ontwikkeling gekomen: de 'solidstate' en de 'vloeibare' membranen.

De meest succesvolle vertegenwoordiger van het solid state type is de fluoridegevoelige elektrode. Deze heeft een membraan dat bestaat uit een lanthaanfluoride (LaF_3) éénkristal waaraan een kleine hoeveelheid europiumfluoride (EuF_2) is toegevoegd. De tweewaardige europiumionen hebben een ionstraal die vrijwel gelijk is aan die van de driewaardig lanthanumionen en kunnen dus dezelfde plaatsen in het kristalrooster bezetten. Zij nemen echter één fluorideion minder mee, waar-

Hiernaast: Fig. 5. LaF_3 , licht 'verontreinigd' met Eu, is uiterst geschikt als materiaal voor fluorideselectieve elektroden.

Rechter pagina: Fig. 6. Polarogram van een mengsel van Pb^{2+} , Cd^{2+} en Zn^{2+} .

Rechts: Een laboratorium-polarograaf. Rechts een behuizing met de druppelende kwikelektrode. Links de microprocessor die de meting stuurt en de gegevens verwerkt.



door vacante fluoride-plaatsen gecreëerd worden. Fluorideionen uit de nabijheid kunnen nu sprongsgewijs zo'n roostervacature opvullen, daarbij zelf een nieuwe vacature scheppend (fig. 5). Op deze wijze kan er een netto-transport van fluorideionen optreden. Aangezien andere anionen niet in de vacatures passen, is dit transport bijzonder selectief.

Een andere manier van selectief transport is te verwezenlijken met vloeibare membranen. Deze bestaan uit een organische fase die niet met water mengt, waarin een complexvormer is opgelost die liever in de organische dan in de waterfase zit. Door een complexvormer te kiezen die selectief met één ion complexeert, kan dit ion aan één kant van het membraan uit de waterfase overgaan in de organische fase; na diffusie van het ioncomplex kan het ion aan de andere kant weer aan de waterfase worden afgestaan. Een bekend voorbeeld van zo'n selectieve complexvormer is valinomycine, een cyclisch tripeptide dat een holte vormt waarin precies een kaliumion past. Valinomycine is een in de natuur voorkomende stof die bij celmembranen het kaliumtransport verzorgt.

Bij alle tot nu toe besproken selectieve membranen zal er een netto-transport van ionen optreden als de concentraties van de betreffende ionen ter weerszijden van het membraan verschillen. Door de concentratie aan één zijde (de binnenoplossing) constant te houden zal het potentiaalverschil over het membraan alleen nog afhangen van de concentratie in de buitenoplossing, wat dan de te meten oplossing is. Door ijking met oplossingen van bekende concentraties moet voor iedere elektrode het verband tussen potentiaal en concentraties worden vastgelegd. Eenmaal geijkt werken elektroden zeer nauwkeurig.

Polarografie

Bij polarografie worden stroom-spanningscurven gemeten aan een druppelende kwikelektrode. Deze elektrode ontstaat door kwik door een capillair te persen waarbij zich aan het uiteinde, dat in de te analyseren oplossing steekt, minuscule kwikdruppels vormen die als elektrode-oppervlak fungeren. Deze druppels zijn kleiner dan speldeknooppjes! Het voordeel van deze zeer kleine oppervlakken is, dat zich al bij stromen ter waarde van enkele microampères uitputtingsverschijnselen voordoen: we komen in de hiervoor al beschreven situatie dat de 'grensstroom' (zie fig. 4) bereikt wordt die evenredig is met de concentratie van de te oxyderen of reduceren stof in de bulk van de oplossing. De geringe stroomwaarde maakt dat ook na langere tijd meten geen merkbare afname van de concentratie in de bulk van de oplossing optreedt.

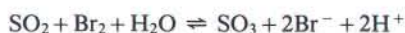
Het voordeel van kwik als elektrodemateriaal is dat zich in tegenstelling tot de meeste andere metalen vrijwel geen H_2 kan ontwikkelen ook al geven we de elektrode een sterk negatieve potentiaal. Hierdoor kunnen we ook de reductie van onedele metalen goed volgen (fig. 6). Metaalionen gaan bij een dergelijke reductie meestal over in de metallische toestand en lossen daarbij onder de vorming van amalgamen in het kwik op. Het voordeel van het druppelen is tweërlei: enerzijds vormt zich met elke druppel een schoon oppervlak zodat er geen accumulatie van verontreiniging optreedt, anderzijds herstelt zich ook in de oplossing na het afvallen van elke druppel de begintoestand, zodat de maximale dikte van de uitputtingslaag constant blijft. Hoewel de kwikelektrode wellicht wat bizar aandoet heeft



deze bewezen één van de meest reproduceerbare elektroden te zijn. Zoals uit figuur 6 blijkt heeft de kwikelektrode ook nadelen: het pulserende karakter van de stroom als gevolg van de groei van het elektrodeoppervlak bij iedere druppel. Dit groeiende oppervlak maakt ook dat steeds een dubbellaag van ionen gevormd moet worden, hetgeen zich uit in een capacitieve stroom. Deze maakt dat met de polarografie in zijn eenvoudigste vorm slechts concentraties van minimaal $10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{l}^{-1}$ bepaald kunnen worden. Door slechts te meten op tijdstippen, waarbij de druppel bijna volgroeid is en het oppervlak zich vrijwel niet meer wijzigt, kan deze capacitieve stroombijdrage verregaand onderdrukt worden. Leggen we bovendien de spanning slechts gedurende zeer korte tijd aan (ca. 40 milliseconde) dan bereiken we dat de uitputtingslaag uiterst dun blijft, wat resulteert in een groot concentratieverschil per lengte-eenheid loodrecht op de kwikdruppel. Hierdoor hebben we een relatief grote diffusie en een daarmee overeenkomende stroom.

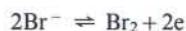
Coulometrie

Tenslotte nog een voorbeeld om te illustreren dat elektrochemische methoden zich gemakkelijk laten automatiseren. Als we gedurende een zekere tijd een berekend volume SO_2 -houdende lucht door een oplossing leiden die broom bevat, dan wordt het zwaveldioxide geoxideerd door het broom:



Om nu het weggenomen broom weer terug te winnen wordt aan een platina-anode de vol-

gende oxidatiereactie uitgevoerd:



De hoeveelheid lading die nodig is om de oorspronkelijke concentratie broom terug te vormen is een maat voor de hoeveelheid zwaveldioxide in het luchtmonster. Op dit coulometrische principe berust de SO_2 -monitor die in de 'snuffelpalen' opgesloten zit, waarmee men luchtverontreiniging meet.

Spelen met ionen en elektronen is, concluderend, een boeiende bezigheid. In het kader van deze bijdrage konden slechts enkele aspecten worden belicht; niettemin hoop ik dat uit de gekozen voorbeelden de veelzijdige toepassingsmogelijkheden duidelijk zijn geworden.

Bij de samenstelling van de serie over analytische scheikunde heeft de redactie medewerking van prof. dr. U.A.Th. Brinkman, Vakgroep Algemene en Analytische Chemie, VU Amsterdam en drs. J. Bouma, Chemiedidactiek, VU Amsterdam.

Literatuur

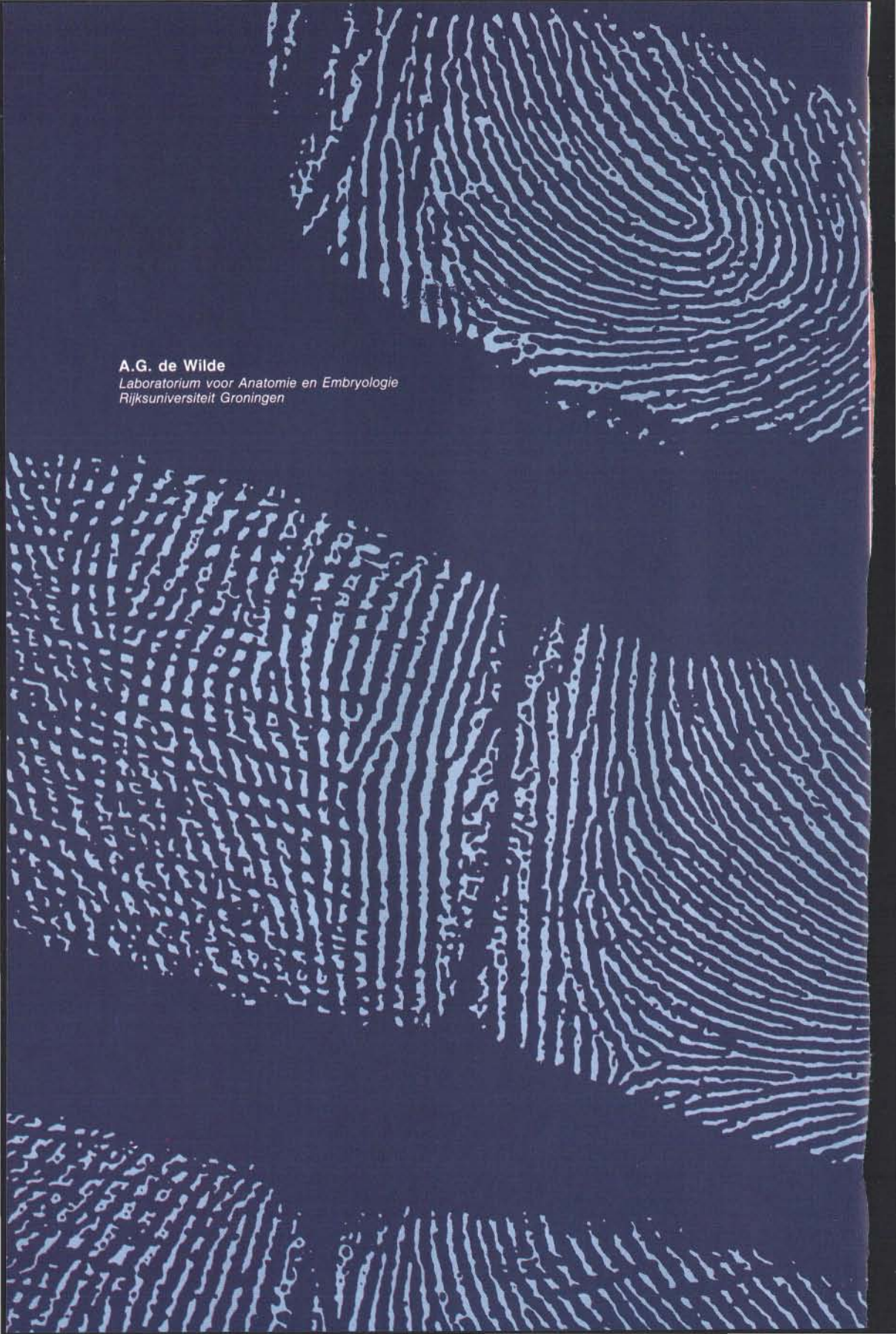
- Freese, F. en van der Linden, W.E., (1981). *Elektrochemische analysemethoden*, 3e druk, Elsevier, Amsterdam.
 Leveson, L.L., (1964). *Introduction to Electroanalysis*. Butterworths, Londen.
 Nürnberg, H.W., (1975). *Electroanalytical Chemistry*. J. Wiley & Sons, Londen.

In deze serie verschenen eerder:

- Chemische analysemethoden, inleiding, november 1984.
 UV/VIS, januari 1985.
 IR/Fluor, februari 1985.
 NMR/ESR, maart 1985.
 Atoomspectrometrie, mei 1985.
 Massaspectrometrie, juni 1985.
 Chromatografie, inleiding, oktober 1985.
 Gaschromatografie, december 1985.
 Hoge-drukchromatografie, februari 1986.

Bronvermelding illustraties

- Pye Unicam Ltd., Cambridge: pag. 276-277, 280-281.
 Alewijnse Electrical Engineering, Nijmegen: pag. 282.
 Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Jülich, prof. dr. B. Sansoni: pag. 283.
 Foto Karel Tibbe, Enschede: pag. 284 (onder).
 Foto Paul Mellaart, Maastricht: pag. 284 (boven).
 Philips, Eindhoven: pag. 285 (onder).
 Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieuhygiëne, Bilthoven: pag. 285 (boven).
 Applikon Instruments, Schiedam: pag. 287.



A.G. de Wilde

Laboratorium voor Anatomie en Embryologie
Rijksuniversiteit Groningen



VINGERLIJSTEN

HET LOT IN EIGEN HAND

Handlezen en daardoor de toekomst voorspellen wordt al duizenden jaren beoefend. Deze voorspellingskunde blijkt niet geheel op losse schroeven te staan. Bestudering van de huidlijsten van handen en voeten heeft uitgewezen dat huidlijstpatronen erfelijk bepaald zijn, terwijl er ook de aanleg voor ziekten uit is af te lezen. Deze tak van wetenschap doet echter geen uitspraken over iemands toekomstige liefdeleven.

De ontwikkeling der huidlijsten geschiedt na een vastlegging van de 'Anlagen' der patronen. Deze vastlegging (determinatie) vindt plaats als een hand met vingers bij het embryo nog niet is gevormd. Tijdens de patroondeterminatie kunnen allerlei processen in het embryo of via de moeder het resultaat beïnvloeden. In de nabije toekomst zullen huidlijsten van belang kunnen zijn bij het bevolkingsonderzoek naar bepaalde ziekten en bij het onderzoek naar de invloed van milieuvervuiling op het ontwikkelende embryo.

Huidlijsten

Huidlijsten zijn smalle, meestal ongeveer evenwijdig lopende richeltjes aan de oppervlakte van de opperhuid (epidermis). Bij de mens komen zij voor op de vingers, handpalmen, tenen en voetzolen. Bij apen en halfapen met een grijpstaart komen zij bovendien voor op het grijpoppervlak van de staart.

Het voorkomen van huidlijsten hangt samen met de tast- en grijpfunctie van de ledemaat of staart. Voor de grijpfunctie is een stroef huidoppervlak van belang en het tastvermogen moet sterk ontwikkeld zijn. Voor een stroef huidoppervlak zouden ook stekeltjes kunnen dienen, maar dat is niet verenigbaar met een gedifferentieerde tastfunctie.

De huidlijsten zijn door groeven van elkaar gescheiden, waarbij de groeven ongeveer even breed zijn als de lijsten. Doordat de huidlijsten op bijvoorbeeld de middelste en onderste vingerleden evenwijdig aan elkaar lopen, dwars op de lengterichting van de vinger, treedt bij grijpen de grootste wrijving op in de lengterichting. Een grotere wrijving, en dus een verbeterde grijpfunctie, wordt bereikt doordat de lijstenbundels gebogen zijn in de vorm van bogen, lussen, wervels of nog ingewikkelder figu-

ren. De aanwezigheid van zulke 'patronen' wijst op een grijpfunctie die in meer richtingen dan alleen de overlangse aangepast is.

Op de voetzool bij de mens vinden we in overeenstemming hiermee overwegend dwars gerichte huidlijsten, behalve in het voorste deel. Bij de handpalm is het lijstenpatroon ingewikkelder hoewel ook daar de lijsten voornamelijk dwars van pinkmuis naar wijsvinger over de palm lopen. De duimmuis hoort embryologisch niet bij de palm.

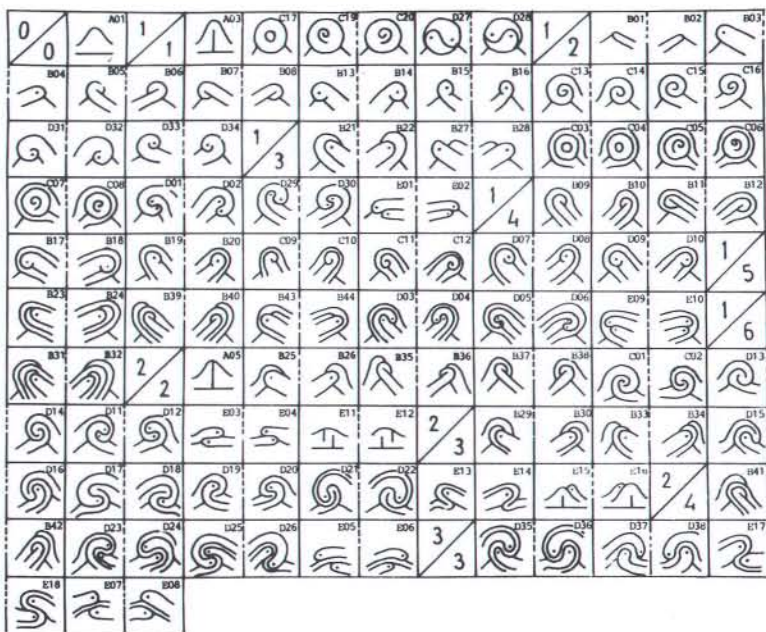
De eenvoudigste patronen (de boog- of arcus-figuren) hebben het kleinste aantal tastlichaampjes. Dit aantal is groter bij lus- (sinus) figuren en het grootste bij wervel- (vortex-) figuren. Naarmate de grijpfunctie gedifferentieerder is, is de tastfunctie meer ontwikkeld.

Patronen

De meest gebruikelijke indeling van huidlijstpatronen op de laatste leden van de vingers en tenen – dus van 'vingerpatronen' – is erg grof. Tussen de patroontypen boog, lus en wervel bestaan op het oog allerlei overgangen. Bovendien kan van lusfiguren de opening naar de pinkzijde of naar de duimzijde van de hand gericht zijn. Dat geldt ook voor de draairich-

Rechts: Fig. 1. Dit schema toont de 122 patroontypen bij de classificatie volgens de Wilde. Topologisch identieke typen (bogen, lussen of wervels) verschillen in draaiingssterkte en/of -richting.

Geheel rechts: Fig. 2. Op deze afdruk van de handpalm van een volwassene is te zien dat de groeven en lijsten ongeveer even breed zijn. De palmlijnen lopen voornamelijk dwars van de palm aan de pinkzijde in de richting van de vingers (de duimmuis hoort embryologisch niet bij de palm).



ting van wervels. De wervels kunnen nog in twee hoofdtypen worden verdeeld, namelijk wervels die uit spiraliserende lijstenbundels zijn opgebouwd en wervels die opgebouwd zijn uit twee om elkaar draaiende 'primaire' patronen (boog + boog, boog + lus of lus + lus). De beide wervel hoofdtypen worden in het Engels onderscheiden als 'whorls' en 'composites'.

Als patronen beschouwd worden als te zijn opgebouwd uit bundels van ongeveer evenwijdige huidlijsten, dan moeten deze bundels, om lussen of ingewikkelder figuren te vormen, ombuigen. Buigt een bundel geheel terug naar de kant waar hij vandaan komt, dan ontstaat een lus of sinus. Aan de basis daarvan loopt een lijstenbundel dwars over de vinger, terwijl de omgebogen bundel tegen een andere dwarse bundel aan ligt. Deze laatste ontmoet de basale bundel aan de kant van de lus die van de lus-opening is afgekeerd. Aan die zijde ontmoeten dus drie bundels elkaar: de *patroon*-, *basis*- en *mantelbundel*.

Zij ontmoeten elkaar met hun zijranden, dus met een patroon-, basis- en mantellijst. Dit ontmoetingspunt wordt vaak als een driesprong van lijsten gezien: de *triradius* of *delta* (zie fig. 3). Van deze drie lijsten gaan er twee

boven en onder het patroon langs naar één kant van de vinger, de andere lijst gaat van het patroon af naar de andere zijde van de vinger. De drie lijsten die de triradius vormen zijn de zogenaamde *radianten*.

Bij whorls en composites komen twee triradii voor. Van de zes radianten zijn vaak enkele gemeenschappelijk voor beide triradii. Naar de vingerzijdkanten gaan er in totaal soms meer dan twee! Radianten die uit een patroon naar vingerzijdkanten gaan, worden 'tails' genoemd, hun aantal is een eenvoudig classificatiekenmerk voor het vingerpatroon. Ook in palmen en zolen kunnen de aantallen tails veel informatie geven over de aantallen en mate van ingewikkeldheid van patronen.

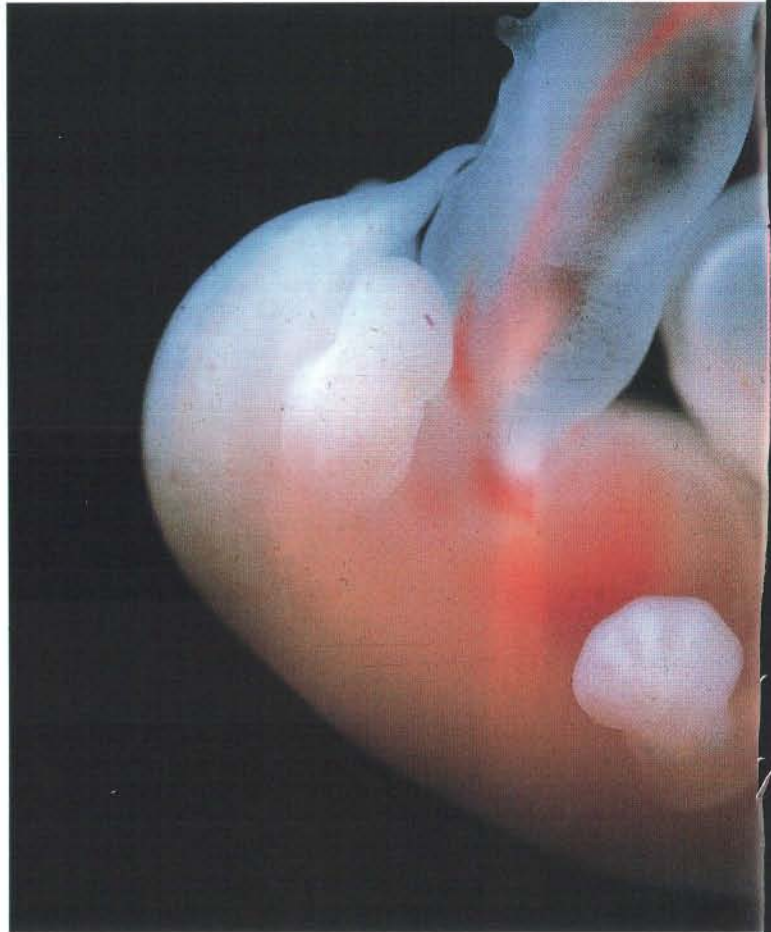
Gewoonlijk past men in de anthropologie en geneeskunde de classificatie in vier of vijf typen volgens Cummins en Midlo, of een van de modificaties daarop, toe. De onderscheiden



Boven: Fig. 3. De vier voornaamste patroontypen die onderscheiden worden in de classificatie volgens Cummins en Midlo zijn de boog (arcus), lus (sinus), wervel (vortex) en vortex compositus. In kleur zijn de triradii aangegeven: de plaatsen waar de patroonbundels, de daaronderliggende basisbundels en de om het patroon heen liggende mantelbundels samenkomen.

Rechts: Deze opname van een menselijke foetus van vijf weken toont duidelijk de eerste aanleg van de hand. Deze bestaat nog slechts uit een platte schijf, waarin net een eerste begin te zien is van wat later de vingers worden. In deze periode worden ook al de huidlijstenpatronen aangelegd. Storingen in de vroege ontwikkeling van de foetus komen daardoor in deze patronen tot uitdrukking.

Rechtsonder: Enige weken later is de hand af. Op de foto is zelfs al een eerste begin van nagels te zien.



TABEL Voorkomen der hoofdgroepen bij 2500 Nederlanders, uitgedrukt in procenten

	S.ulnaris	S.radialis	Arcus	Vortex	Zeldzame vormen
R. duim	54,84	0,36	2,84	41,96	0,00
R. wijsvinger	26,36	24,00	19,04	30,16	0,44
R. middelvinger	69,68	1,64	11,16	17,52	0,00
R. ringvinger	52,28	1,00	3,60	43,04	0,08
R. pink	84,16	0,24	2,12	13,48	0,00
Rechterhand	57,46	5,45	7,75	29,23	0,10
L. duim	63,52	0,36	5,24	30,88	0,00
L. wijsvinger	34,84	21,12	16,20	27,44	0,40
L. middelvinger	70,04	2,12	12,20	15,48	0,16
L. ringvinger	65,88	0,48	3,84	29,80	0,00
L. pink	88,00	0,04	3,16	8,80	0,00
Linkerhand	64,46	4,82	8,13	22,48	0,11



typen zijn dan arcus (boog), sinus ulnaris (lus met de opening gericht naar de pink), sinus radialis (lus met de opening gericht naar de duim), vortex (wervel) en eventueel vortex compositus (zie fig. 3).

Sinds kort bestaat er ook een voornamelijk topologische indeling die gebaseerd is op het feit dat patroontypen niet in elkaar mogen overgaan, anders dan door draaiing en/of verschuiving. Omdat ook de graad van draaiing in de biologie van het huidlijstensysteem belangrijk is, zijn in deze topologische classificatie 61 verschillende typen onderscheiden (122 als men met opening of draairichting rekening houdt; zie fig. 1).

Bij het opsporen van misdadigers worden naast de patroontypen ook *minutiae* gebruikt. Dit zijn de fijnere kenmerken binnen het lijstenpatroon, bijvoorbeeld vertakkingen, eilandjes e.d. die door een enkele lijst gevormd zijn. Zij kunnen beschouwd worden als gevolg van 'ontwikkelingsruis', opgetreden tijdens de embryogenese. Ligging, aard en aantal zijn per vinger specifiek voor het individu en daardoor van veel belang voor identificatiedoeleinden. Het aantal minutiae op een vinger hangt samen met het patroontype.

Verschillen in patroonfrequenties

De frequenties der verschillende vingerpatroontypen tonen vinger-, hand-, sexe- en groepsverschillen. Wervels komen het meest voor op de eerste en vierde vingers (rechts en links), lussen op de vijfde vingers. De rechterhand heeft gemiddeld meer wervels en samengestelde figuren dan de linkerhand (zie tabel). Dit verschil is bij mannen groter dan bij vrouwen. Over het algemeen hebben vrouwen meer boog- en lusfiguren dan mannen. Boogfiguren komen bij beide geslachten het meeste voor op de tweede vingers rechts.

Groepsverschillen in patroonfrequenties zijn van antropologisch belang. Zeer hoge frequenties van werveltypen komen voor bij oud-mongoloïde stammen en Papoea's. Chinezen, Japanners en andere mongoloïde groepen scoren lager. De meeste boogfiguren worden gevonden bij Pygmeeën uit Centraal-Afrika. Negroïde stammen en blanken liggen tussen deze extremen in, maar onderscheiden zich wel op grond van de patroonfrequentieverdeling over de vingers.

Ontwikkeling van huidlijsten

Microscopische coupes van de palmzijde van de huid van vingertoppen tonen bij embryo's van vier maanden een toename van het oppervlakte-epitheel, aan de onderzijde daarvan. De opperhuid (epidermis) groeit met parallelle schotten in de onderliggende lederhuid. Deze laatste zal dus eveneens in schotjes worden verdeeld. De opperhuidricheltjes worden *primaire huidlijsten* genoemd.

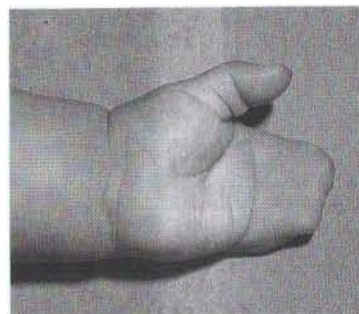
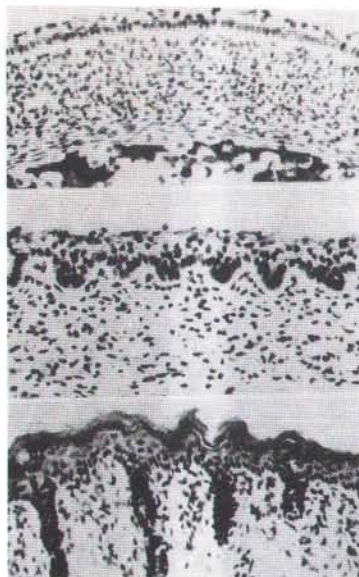
Pas na de vijfde ontwikkelingsmaand, als de primaire lijsten met zweetklierafvoerbuizen erin zijn gevormd, gaat het ectoderm aan zijn bovenoppervlakte uitgroeien. Het vormt daar de epidermale huidlijsten, die corresponderen met de eronder gelegen primaire lijsten. Dan pas wordt het 'vingerpatroon' aan de buitenkant van het embryo zichtbaar. Tussen de primaire huidlijsten in groeien vanaf de vijfde maand secundaire lijsten (Furrow folds) uit de onderzijde van het ectoderm.

Palmlijsten ontwikkelen later dan vingervormlijsten. Het eerst ziet men ontwikkelingen in het gebied van de triradii bij de bases der vingers, later groeien bundels uit vanaf deze bases naar de pols en de pinkzijde van de palm. Op de duimmuis zijn de lijsten eerder uitgegroeid. Op de tenen en voetzool treden ook dergelijke ontwikkelingsprocessen op, maar iets later.

Ontwikkeling van de hand

Bij een embryo van ca. drie weken oud bevindt zich aan de zijkant van het lichaam een lijst van verdikt epitheel. Op een doorsnede is te zien dat dit epitheel gesteund wordt door dichter bindweefsel dan elders, buiten de lijst. De lijst reikt van het halsgebied tot het onder-einde van de romp. Op deze lijsten ontstaan vier, enigszins langgerekte verhevenheden, de *extremiteitknoppen*. Uit een extremiteitknop ontwikkelt zich een hele ledemaat, en wel in de volgorde: schouder, vinger en heup, teen.

Beperken we ons tot de arm. De extremiteitknop verlengt zich tot een cylindertje, dat een knik gaat vertonen: de latere elleboog. Voor het uiteinde van de latere onderarm plus hand ontstaat een ringvormige groeve, die een afgeplat eindgedeelte scheidt van de onderarm. Het afgeplatte ongeveer cirkelvormige eind-deel is de handplaat. Hieruit ontwikkelen zich de pols, middenhand en vingers.



Geheel boven: Deze microscopische opnamen van de huid van een embryo tonen de verschillende stadia in het ontstaan van de vingervormlijsten. Op de bovenste foto is nog niets gebeurd. Op de middelste is de aanleg van de primaire huidlijsten te zien, daaronder is de aanleg gereed en is het patroon duidelijk zichtbaar.

Boven en rechts: Syndactylie kan in verschillende vormen voorkomen. Bij de foto boven zijn de spieren van de verschillende vingers vergroeid. Rechts zien we een membraanuze syndactylie, waarbij de vingers door een huidplooi zijn verbonden. Deze afwijking is met plastische chirurgie te verhelpen.

Geheel rechts: Fig. 4. Afdruk van een hand met een syndactylie van midden- en ringvinger. De huidlijsten van deze vingers vormen samen één continu patroon. De 'tussenvinger bundel' (interdigitale bundel) die de palm moet ingroeien, ontbreekt.

De scheiding tussen handplaat en onderarm is te zien bij een embryo van vijf weken. De handplaat is dan een plat zakje van ectoderm, gevuld met losmazig bindweefsel. Van vingers, handwortel- en middenhandsbeentjes, evenals van vingerkootjes ontbreekt nog ieder spoor.

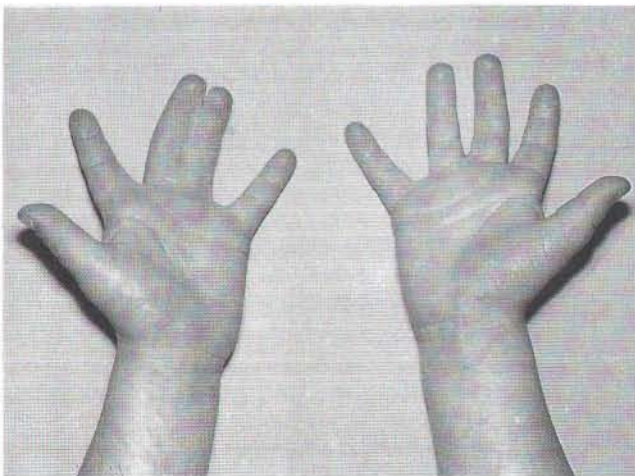
Bloedvaten zijn er wel, zenuwen niet. Het losse bindweefsel wordt dicht in het gebied van de latere beenderen. Op deze plaatsen wordt de handplaat ook wat dikker, zodat bijvoorbeeld de vingers als uit de handwortel komende vingerstralen te zien zijn. De vingers zijn echter nog onderdelen van het einddeel van de handplaat dat daarom wel *vingerplaat* genoemd wordt. Aan de hand worden dan een *palmplaat* en een *vingerplaat* onderscheiden. In de zesde week splitst de vingerplaat op. Dit gebeurt door het verdwijnen van de dunne delen in de vingerplaat. Bovendien groeien de vingers in de lengte.

Lijstenpatronen bij misvormde handen

Een veel voorkomende handafwijking is *syndactylie*. Hierbij zijn twee of meer vingers niet van elkaar gescheiden (zie fig. 4). De vingers zijn soms alleen aan rug- of palmzijde door een uit huid gevormd vlies verbonden (membraneuze syndactylie). In andere gevallen kunnen vingerspijeren en vingerkootjes meer of minder samenhangen. Bij syndactylie lopen de huidlijsten dwars van de ene syndactyle vinger naar de andere.

Ernstige handafwijkingen zijn het dubbel aangelegd zijn van vingers (polydactylie, vaak van de pink) en het ontbreken van één tot zelfs alle vingers. De huidlijsten lopen op een overvallige vinger als op een normale vinger. Het patroon van de palmlijnen kan bij polydactylie ingewikkelder zijn dan normaal. Als alleen de duim verdubbeld is, is het palmpatroon normaal. Bij het ontbreken van vingers wordt het palmpatroon eenvoudiger. Ontbreken alle vingers bijna totaal, dan heeft de palm alleen dwarslopende lijsten. Waarschijnlijk ontwikkelen de palmlijnen zich later dan de vingerlijsten en is het verloop van de laatste van invloed op het palmpatroon. Dat betekent ook dat het patroon dat zich op de palm ontwikkelt, geheel of ten dele afhangt van wat eerder op de vingers is ontstaan.

Het doorlopen van de dwarse huidlijsten van de ene vinger op de andere bij een vingerpaar met syndactylie kan op twee manieren worden verklaard. Het kan een tweede gevolg zijn van dezelfde oorzaak die de beide vingers wat betreft huid (plus eventueel spieren, kootjes e.d.) syndactiel liet of maakte. Het is ook mogelijk dat beide vingers niet van elkaar los konden komen *nadat* één continu huidlijstensysteem voor hen was aangelegd. Tot op dat moment verliep de vorming van de hand normaal. Dat zou betekenen dat het continue huidlijstensysteem voor alle vingers van één hand is aangelegd, vóór de opsplitsing van de vingerplaat in vijf afzonderlijke vingers.





Een aanwijzing voor de laatste opvatting vindt men door afdrukken te maken van de vingers (hun zijkanten inbegrepen). Zo kan aangetoond worden dat lijstenpatronen van opeenvolgende vingers aansluiten. Men kan de lijsten van de vingerplaat weer op elkaar doen aansluiten zodat een continu patroon wordt gevormd. Vooral bij jongere kinderen is de aansluiting heel goed, doordat bij hen verschillen in lengtegroei der afzonderlijke vingers nog klein zijn.

De duim blijkt op de wijsvinger aan te sluiten, wat betekent dat de duimvuis van een proximale vingerlid is afgeleid (zie fig. 5). (Proximale: het meest nabij de romp gelegen; in de hand betekent dit het meest nabij de pols gelegen. Het tegengestelde is distaal.)

Palmlijsten

Palmlijsten ontwikkelen later dan vingerlijsten. Onder het palmgebied wordt hier verstaan de handpalm zonder de duimvuis. Deze laatste ontwikkelt namelijk vóór de rest van de palm. Huidlijsten uit de meest proximale delen van de vingers, de onderste vingerkootjes, dringen het palmgebied binnen (zie fig. 6). Huidlijsten bij de pols en aan de pinkzijde van de palm ontstaan misschien al eerder. De lijsten uit het vingergebied lopen in de palm meestal ongeveer in de lengterichting tot zij botsen op eerder gevormde lijsten en om moeten buigen (meestal in de richting van de pinkzijde van de palm). Daardoor ontstaan samengestelde patronen.



Een van de bekendste toepassingen van de vingerlijstpatronen is de identificatie van personen. Hoewel in de vingerlijstpatronen een aantal categorieën onderscheiden kan worden, is ieders vingerafdruk uniek. Bovendien verandert het patroon tijdens het leven niet. Iemand die een voorwerp met zijn vingers heeft aangepakt laat daarop een doorgaans onzichtbaar spoor van zweet en vet achter. Met behulp van speciale technieken, bijvoorbeeld behandeling met een geschikt poeder, kan dit spoor zichtbaar gemaakt en vastgelegd worden. Door vergelijking met eerder verzamelde vingerafdrukken, is het mogelijk tot identificatie over te gaan.

Chronologie

Het continu zijn van de lijstenpatronen over de vijf vingers, houdt in dat in het vingerplaatstadium het totale patroon reeds moet zijn vastgelegd (gedetermineerd), hoewel er nog niets van te zien is. De vingerplaat begint op te splitsen bij een embryo van 11-14 mm kopstuitlengte (6-7 weken na de conceptie). Lang voor de vorming van huidlijsten op microscopische coupes zichtbaar is, is hun patroon dus reeds vastgelegd. Waarschijnlijk geldt dit ook voor de palmen, tenen en voetzolen.

In een embryo van vier tot zeven weken ontwikkelen zich het oor, oog, delen van het hart, vaatstelsel, centrale zenuwstelsel, het aangezicht, de uitwendige geslachtsorganen en de baarmoeder. Storingen van erfelijke aard, of door omgevingsinvloeden (via de uteruswand) kunnen niet alleen op bovengenoemde organen en orgaansystemen betrekking hebben, maar ook op het huidlijstenpatroon. Dit laatste kan daardoor aanwijzingen geven voor het optreden van zulke storingen vóór het einde van de eerste zeven weken na de conceptie!

Huidlijstenpatronen en erfelijke ziekten

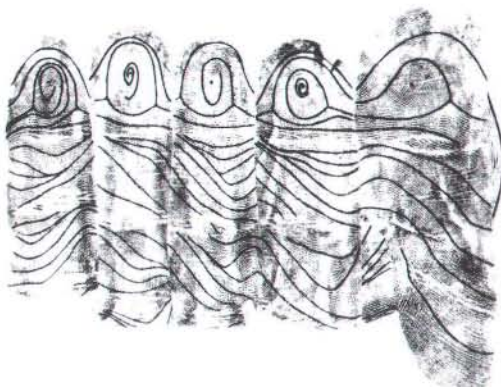
De vroege ontwikkeling van de patronen, betekent dat gelijktijdige processen in het embryo deze aanleg kunnen beïnvloeden. Zijn zulke processen abnormaal, dan kan zich dat ook in de huidlijstenpatronen uiten.

Dat verschillen in erfelijke aanleg invloed kunnen hebben, bewijst o.a. het geslachtsverschil in vingerpatroonfrequenties. Bij afwijkende aantallen geslachtschromosomen, worden ook afwijkingen van de huidlijsten gevonden. Bij Turner- en Klinefelter-patiënten, die één geslachtschromosoom missen, resp. een of meer extra Y- of X-chromosoom hebben, hangt de graad van de afwijkingen van het patroon rechtlijnig samen met het aantal geslachtschromosomen.

Het aantal lijsten tussen triradius en het figuurcentrum in een vingerpatroon wordt aangegeven als de FRC (Finger Ridge Count). Bij patronen met twee triradii zijn er twee FRC-getallen. Gewoonlijk neemt men van beide getallen alleen het grootste. De som van de FRC-waarden over alle tien vingers is de Total Finger Ridge Count (TFRC). Penrose kwam tot de formule dat de TFRC afhangt van de aantallen

geslachtschromosomen volgens $TFRC = 187 - 30x - 12y$. Hier is y het aantal Y-chromosomen, x het aantal X-chromosomen. X-chromosomen hebben dus een veel grotere invloed op de TFRC (en dus ook op de vingerpatronen) dan de Y-chromosomen (zie fig. 7).

Ook bij abnormale aantallen autosomen (niet-geslachtschromosomen) blijkt het lijstenpatroon van vingers en palm verstoord te zijn. Vaak doen hier ook de palmgroeven ('creases') aan mee. Dit zijn de diepere groeven van de palm die voor de chiromantie en chirologie (waarzeggen en karakterlezen uit de hand) van veel belang zijn. Deze groeven doorkruisen vaak het lijstenpatroon. Hun grovere topologie wordt omstreeks dezelfde tijd vastgelegd



Boven: Fig. 5. Reconstructie van de situatie der huidlijsten op de embryonale vingerplaat. Alle vingerlijsten zijn onderdelen van een totaal patroon voor de vijf vingers samen.

als de huidlijsten. Bij het syndroom van Down (de mongoloïde idiotie) zijn er drie chromosomen 21 in plaats van twee. Huidlijstenpatronen en creases hebben zulke specifieke afwijkingen, dat in meer dan 98 procent van de gevallen deze chromosoomafwijking alleen al op grond van genoemde kenmerken kan worden vastgesteld. Deze huidlijstkundige diagnose onderscheidt het Down-syndroom ook van andere chromosoomafwijkingen.

Bij deze afwijkingen in de aantallen chromosomen vindt men afwijkende frequenties van de vinger- en palmpatronen. Ook de creases hebben hogere frequenties van typen die weinig bij normale personen voorkomen. Er

zijn dus duidelijk kwantitatieve verschillen tussen patiënten en normale individuen.

Bij zeer veel erfelijke afwijkingen die niet berusten op abnormale chromosoomaantallen zijn abnormale patroonfrequenties waargenomen. Patroontypen die karakteristiek zijn voor één bepaalde erfelijke ziekte (zgn. pathognomische typen) zijn nog niet zeker bekend. Wel is het waarschijnlijk dat combinaties van bepaalde patronen op verschillende vingers pathognomische waarde hebben. Dit is echter nog onvoldoende onderzocht.

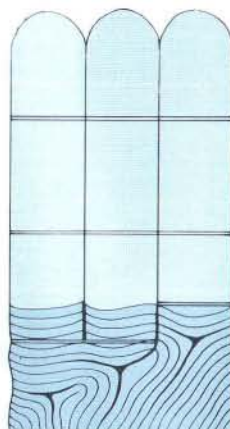
Niet-erfelijke factoren

Bij kinderen en vrouwen die tijdens de eerste maanden van de zwangerschap rode hond (rubella) hebben gehad, komen naast o.a. harten oogaftwijkingen ook verhoogde aantallen wervelfiguren voor. Ook bij bepaalde ziekten van het systeem van de witte bloedlichaampjes (leukemie) wordt dit aangetroffen.

De geboortevolgorde van kinderen is ook bij niet-pathologische gevallen van invloed op het vingerpatroon. Dit wordt bovendien beïnvloed door het geslacht van de eerder geborene. Dit betekent dat iemands vingerpatronen niet alleen van zijn/haar geslacht en ouders afhangen, maar ook van het feit of hij/zij enig kind is of niet. Als dat niet het geval is, is van invloed of hij/zij een oudere broer en/of zus(sen) heeft. Zo is het frappant dat de handlijsten van een dochter met een oudere zus meer op die van haar vader lijken, dan wanneer zij een oudere broer had gehad.

Rechts: Fig. 6. Volgens dit schema vormen de proximale vingerlijsten de ingroeiende interdigitaal (tussen de vingers liggende) palmbundels.

Geheel rechts: Fig. 7. Deze figuur toont de samenhang van de Total Finger Count (TFRC) met het aantal X en Y chromosomen. Van een aantal personen werd de gevonden TFRC vergeleken met die welke men op grond van het aantal geslachtschromosomen zou verwachten.



Uit het voorgaande blijkt dat het 'milieu intérieur' van de moeder het lijstenpatroon van het ontwikkelende embryo beïnvloedt. Experimenteel onderzoek bij apen toonde al aan dat ook emotionele stress van het moederdier de rechts-links symmetrie van vingerpatronen bij de nakomelingen beïnvloedt.

Huidlijstenpatronen als registratief medium

Ontwikkelingsprocessen in het embryo gedurende de eerste helft van de tweede maand beïnvloeden het huidlijstenpatroon. Dit geldt voor vinger- en palmpatronen. Het is zeer onwaarschijnlijk dat voor de afzonderlijke patronen op de vingers en tenen, palmen en zolen aparte erfelijke factoren bestaan. In een computersimulatie van de handpalm ontwikkelen zich patronen afhankelijk van de gegeven randvoorwaarden. Dit zijn continu variabele grootheden, zoals groeisnelheid, multiplicatiesnelheid, hoek van initiële ingroei en de lengte en breedte van het gebied waar de ingroei plaats heeft. De zo gevormde patronen kunnen eenvoudige evenwijdige lijsten, of boog-, lus- of wervelfiguren zijn. De patronenreeks hangt af van de waarden der continu variabele uitgangswaarden. Een of andere van te voren vastgelegde patroonfactor ontbreekt. Kleine veranderingen in de invoervariabelen kunnen dus tot andere patronen en patrooncombinaties leiden.

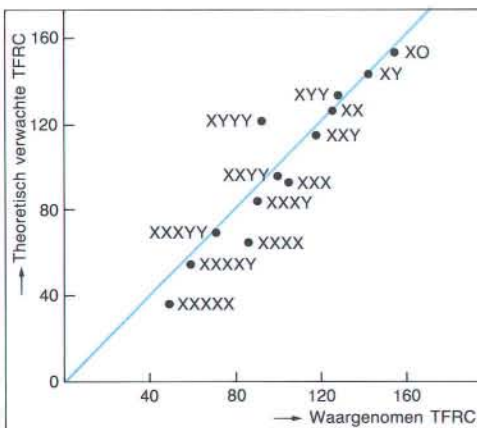
Dit is waarschijnlijk een goede voorstelling van wat zich in het embryo afspeelt. Ook daar blijken kleine veranderingen in de omgeving

van het embryo (dus in de baarmoeder en het moederlijk bloed) de patronen van het kind te beïnvloeden. Zulke kleine veranderingen kunnen ook andere, tegelijk met de huidlijsten ontwikkelende orgaansystemen zoals het hart en de hersenen beïnvloeden. Zo is het voorkomen van abnormale lijstenpatronen bij aangeboren hartafwijkingen, neurologische en psychiatrische ziekten te begrijpen uit een gemeenschappelijke oorzaak.

Toekomstige ontwikkelingen

Het idee dat uit de huidlijsten en -groeven de toekomst van een persoon kan worden voorspeld is niet helemaal ongegrond. Zij geven een registratie van wat zich afspeelde in een vroeg embryonaal stadium. Zij bevatten ook informatie over dan reeds vastgelegde ontwikkelingsgebeurtenissen die pas veel later, op middelbare leeftijd, manifest zullen worden.

Zo is aangetoond dat in veel gevallen de aanleg voor borstkanker bij vrouwen en o.a. die voor hartinfarcten met de huidlijstenpatronen samenhangt. Omdat het uitwendig milieu via de moeder het embryo kan beïnvloeden, kan verwacht worden dat toxicologen in huidlijstenpatronen parameters voor milieuvervuiling zullen kunnen vinden. Uiteraard zijn de huidlijsten ook bij bevolkingsonderzoek naar de aanleg voor veel voorkomende ziekten belangrijk. Wetenschappelijk gezien staan we pas aan het begin van het lezen van het dermatoglyfisch boek van palmen en zolen. Zelfs het alfabet kennen we nog nauwelijks.



Bronvermelding illustraties

Lennart Nilsson, uit: *Ontdek de mens*, Uitgeverij Ploegsma, Amsterdam: pag. 292-293, 293.

Prof. dr. A.J.C. Huffstadt, Afd. Plastische Chirurgie, Academisch Ziekenhuis Groningen: pag. 294 (onder), 295 (links).

Fotopersbureau Paul Mellaart, Maastricht: pag. 289, 296, 297. (Met dank aan de gemeentepolitie Maastricht).

Alle overige illustraties zijn van de auteur.

De dampkring is een buitengewoon vervelende hinderpaal voor sterrenkundigen. Veel van de straling in het heelal komt niet op het aardoppervlak aan. De luchtlagen rond de Aarde houden zoveel tegen dat sterrenkundigen graag hun toevlucht zoeken tot satellieten. Boven de dampkring kunnen die tot nu toe ongekende gegevens verzamelen. Succesvoorbeelden zijn ANS, IRAS en de huidige EXOSAT van ESA.

Ook gammastraling komt nauwelijks door de dampkring heen. De gammasterrenkunde is tot nu toe een vrij onbekende, kleine tak van de astronomie. Gammasterrenkundigen onderzoeken de meest energierijke vorm van elektromagnetische straling. Ze kijken naar zeer heftige kosmische verschijnselen.

Een groot probleem bij de waarneming is dat gammastraling zich niet door lenzen of spiegels laat afbuigen. De natuurkundige trucendoos moet volledig open om gammastraling op te vangen.

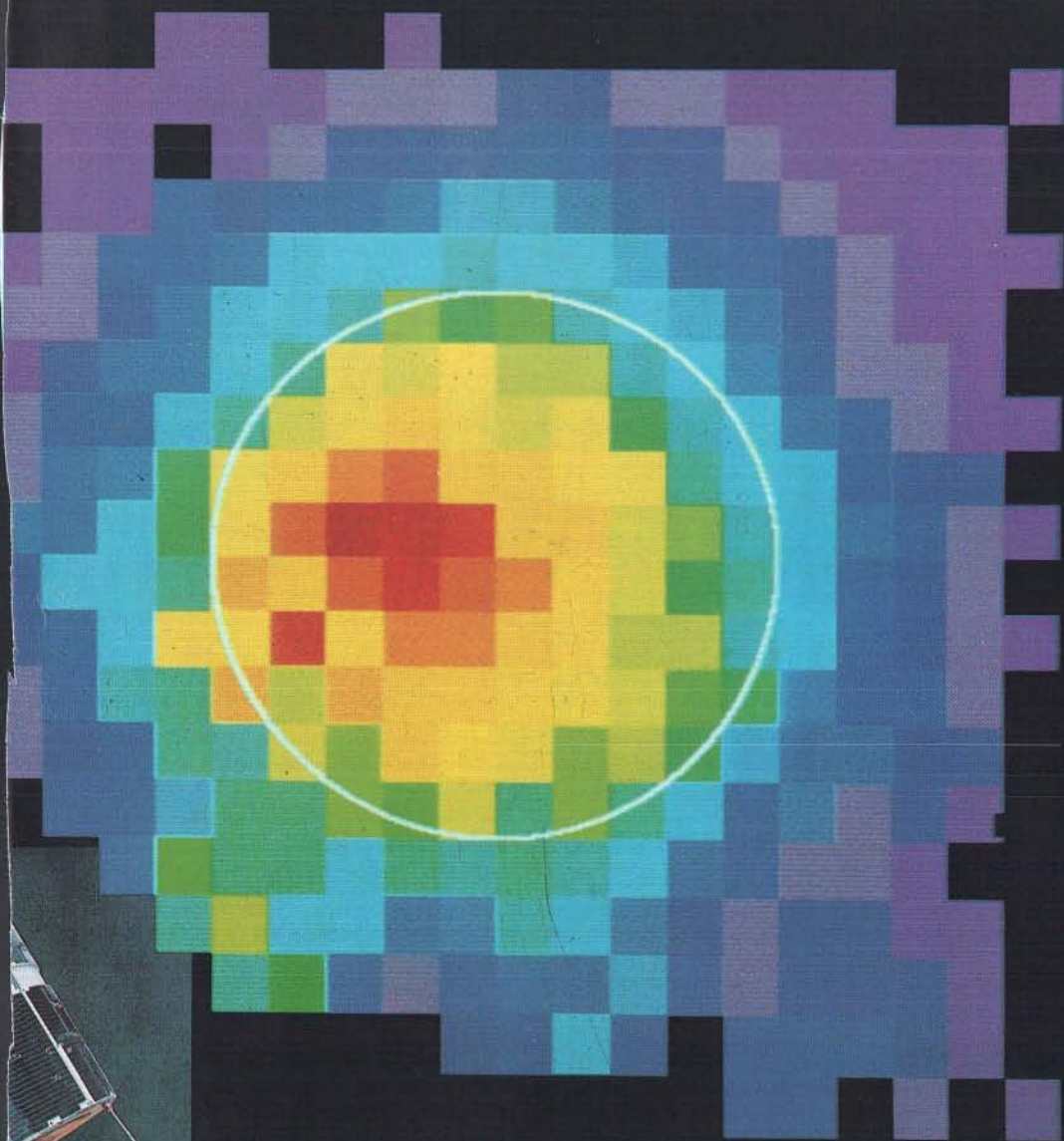
GAMMA TELESCOPEN

Rechts: COS-B zoals die vanaf augustus 1975 rond de aarde draaide en de hemel in gammastraling waarnam. De telescoop detecteerde in zeven jaar 100.000 fotonen. COS-B leverde vrijwel het gehele gegevensbestand van de huidige gammasterrenkunde.

Rechtsboven: De Aarde zoals COS-B haar zag. Onze Aarde, eigenlijk de dampkring, is een zeer sterke bron van gammastraling. Deze straling bezorgt de ontwerpers van gammatelescopen op satellieten veel last, omdat de aardse gammastraling moeilijk is te onderscheiden van de hemelse gammastraling. Bovendien is de intensiteit van de aardse straling vele malen groter dan die uit de hemel, omdat de Aarde zo dichtbij staat.

Zeef voor zeldzame fotonen





G. Kiers
*Laboratorium voor Ruimteonderzoek
Leiden*

Gammasterrenkunde startte als een uitvloeisel van het onderzoek naar kosmische straling. Toen de Oostenrijker Victor Hess in het begin van deze eeuw ioniserende straling uit de hemel waarnam, vermoedde hij dat dat dezelfde straling was die hij enkele jaren daarvoor bij natuurkundige experimenten had ontdekt. Hij noemde het verschijnsel toen gammastraling in navolging van de al bekende alfa- en bètastraling. Veel later pas, in de jaren dertig, vonden andere onderzoekers dat de straling niet echt elektromagnetische straling was. De kosmische straling bleek uit deeltjes te bestaan, die bijna met de lichtsnelheid door onze Melkweg vliegen. Het overgrote deel bestaat uit protonen (ongeveer 90 procent) en elektronen (ongeveer 10 procent) met daarnaast nog een fractie zware kernen van silicium, koolstof, ijzer en andere elementen.

Later bleek toch een verband te bestaan tussen de kosmische straling en een deel van de gammastraling uit de hemel. Astronomen berekenden in de jaren vijftig dat gammastraling kan ontstaan wanneer protonen uit de kosmische straling botsen met molekulen in gaswolken in ons Melkwegstelsel. Berekeningen leerden dat bij zulke botsingen zeer instabiele pi-mesonen ontstaan, die direkt uiteenvallen in twee gammafotonen (zie fig. 1). Dit verband bleek van pas te komen bij het astronomische onderzoek naar zulke gaswolken. Immers waar gas zit, moet gammastraling ontstaan, omdat er botsingen met kosmische stralingsdeeltjes plaatsvinden. De intensiteit van de gammastraling is een maat voor de hoeveelheid gas. Op deze manier kunnen gaswolken worden opgespoord die anders onzichtbaar zijn, omdat het gas straling uitzendt.

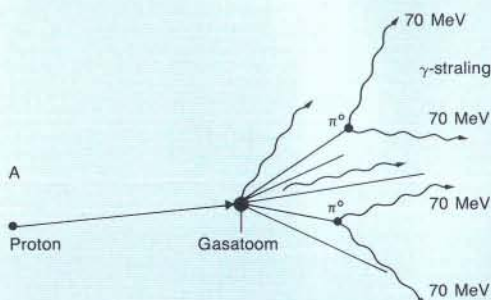
Bronnen van gammastraling

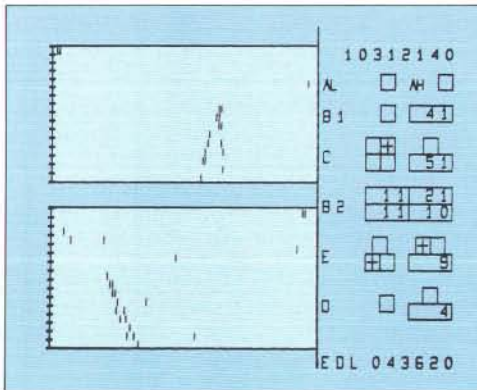
Gammasterrenkundigen hebben bijvoorbeeld het bestaan van grote gaswolken met molekulaire waterstof H_2 aangetoond. In tegenstelling tot atomair waterstof H , dat een karakteristieke straling met een golflengte van 21 cm uitzendt, heeft het twee-atomige molekuul geen herkenbare optische of radiostraling. De produktie van gammastraling door de kosmische straling blijkt zulke wolken 'zichtbaar' te maken.

Gammastraling ontsluit nog meer dan alleen gaswolken. Compacte objecten als neutronensterren en, als ze bestaan, zwarte gaten, zijn in staat om veel gammastraling te produceren. Neutronensterren zijn restanten van opgebrande en uiteengespatte sterren (supernova's). Het zijn kleine bolletjes met een diameter van slechts enkele tientallen kilometers. Ze hebben vaak zeer sterke magneetvelden, soms meer dan 10^7 Tesla (het aardse veld is 10^{-4} Tesla), waarin geladen deeltjes met zeer grote snelheden (bijna de lichtsnelheid) naar het steroppervlak spiraliseren. De deeltjes zenden tijdens dat cirkelen grote hoeveelheden straling uit, waaronder gammastraling. Neutronensterren kunnen daarom zeer heldere gammabronnen zijn, zoals het restant van de in 1054 geziene supernova, die in de beroemde Krabnevel in het sterrenbeeld Stier staat.

Niet alleen binnen onze Melkweg staan bronnen van gammastraling. Ver buiten ons Melkwegstelsel staan quasars. Quasars zijn, althans dat is de gangbare theorie, zeer compacte, zware kernen van sterrenstelsels waar voortdurend grote gaswolken naar toe vallen. Door het zeer sterke zwaartekrachtsveld van

Fig. 1. Kosmische straling bestaat voor 90 procent uit protonen, voor ongeveer 10 procent uit elektronen en daarnaast nog uit kleine hoeveelheden atoomkernen. De deeltjes vliegen met buitengewoon hoge snelheden door de interstellair ruimte, waarbij ze de lichtsnelheid vaak zeer dicht naderen. Deze deeltjes produceren gammastraling wanneer ze langs atomen of molekulen in gaswolken tussen de sterren schieten. Bij protonen (A) gebeurt dit wanneer ze botsen met de atomen of molekulen. Elektronen (B) zenden gammastraling uit wanneer ze langs de atomen scheren en worden afgebogen.





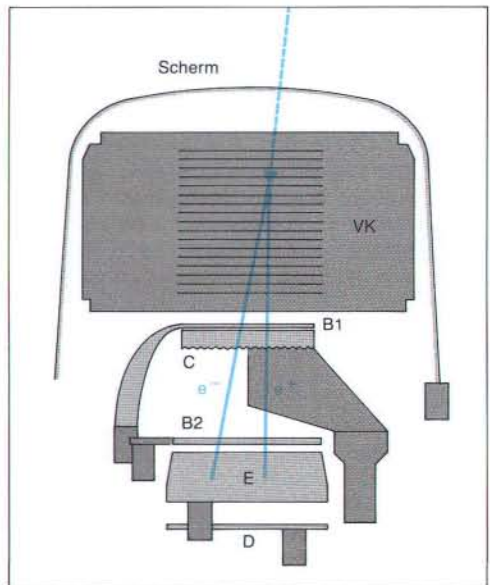
Links: Fig. 2. Het eerste COS-B gammafoton, geregistreerd op 12 augustus 1975, drie dagen na de lancering van de satelliet. Het uitleesprincipe van een vonkenkamer is hier te zien. De twee diagrammen zijn twee zij-aanzichten en laten de reconstructie van het spoor door de kamer zien. De kleine streepjes zijn de registraties van de draden waarop lading viel tijdens een doortocht van een gevormd elektron en positron.

Onder: Fig. 3. De satelliet COS-B, waarvan hier een schematische dwarsdoorsnede, bevatte een gammatelescoop die hoog-energetische gammastraling via paarvorming waarnam. De belangrijkste onderdelen waren de vonkenkamer (VK) en de detector (E). De detector bestaat uit een NaI-kristal waarin een geladen deeltje een lichtspoor achterlaat. B1 en B2 zijn detectoren die samen de richting van een foton bepalen. De detector C en het scherm signaleren fotonen uit een verkeerde richting, bijvoorbeeld uit de aardse atmosfeer.

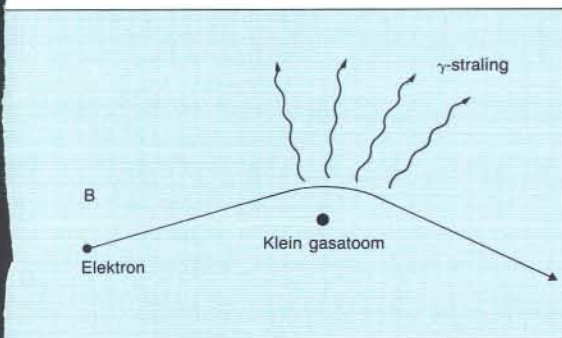
een quasar komt er dan veel energie vrij die als elektromagnetische straling, waaronder gammastraling, wordt uitgezonden. Helaas staan quasars erg ver weg. Vanaf de Aarde zijn ze zeer zwak. Van de ongeveer 2000 bekende quasars is er dan ook nog maar één gevonden die voldoende gammastraling uitzendt om door een gammatelescoop gezien te worden. Hij is bekend onder zijn catalogusnaam 3C273.

Weinig fotonen

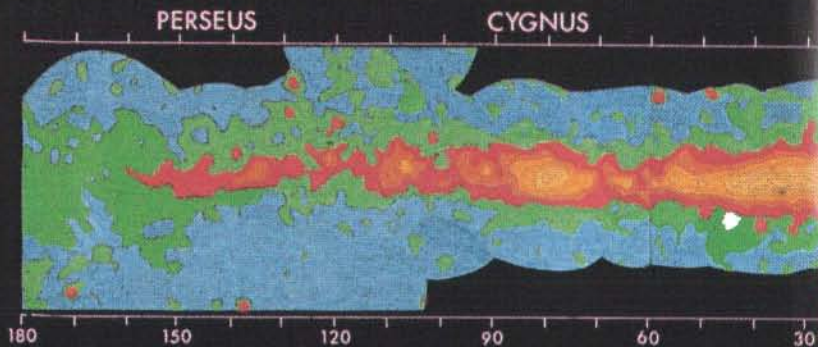
Het waarnemen van gammastraling levert dus nieuwe feiten maar gaat wel gepaard met enige problemen. De processen die gammastraling produceren, zoals botsende protonen op gaswolken, geven er de voorkeur aan om de geproduceerde energie snel en efficiënt af te voeren. Dat gebeurt liever met zeer weinig, maar wel hoogenergetische gammafotonen, dan met zeer veel, maar laagenergetische foto-



nen van zichtbaar licht. Vergelijk het met de man achter het loket, die een uitbetaling van een paar duizend gulden liever in briefjes van honderd doet dan in stuivers. Eén gammafoton van 100 MeV ($\lambda = 12 \cdot 10^{-15} \text{ m}$) transporteert immers evenveel energie als vijftig miljoen lichtfotonen met een golflengte van 600 nanometer ($E = 2 \text{ eV}$, $\lambda = 6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$, rood licht). Door die bundeling van energie zenden de bronnen maar mondjesmaat gammastraling uit. Voor het maken van foto's met gewone optische kijkers hebben astronomen soms al



In een zeven jaar lange waarnemingsperiode kon COS-B de hele Melkweg in kaart brengen. De schijfvorm is gemakkelijk te herkennen. Deze foto laat de verdeling van het gas in de Melkweg zien. Deze kaart is in galactische coördinaten uitgezet. Dat is een systeem waarin de zon in de oorsprong staat. De verbindinglijn tussen de zon en het Melkwegcentrum heeft galactische lengte 0° . Het anti-centrum ligt juist aan de andere kant, op 180° lengte.



belichtingstijden in de orde van uren nodig. Voor het opvangen van voldoende gammafotonen moeten astronomen soms weken uittrekken. De Europese satelliet COS-B met een gammatelescoop aan boord keek soms een maand lang in dezelfde richting.

Bouwen

De problemen waarmee ontwerpers en bouwers van gammatelescopen worstelen zijn anders. Gammafotonen hebben zo'n hoge energie dat ze in vrijwel alle materialen doordringen. Ze laten zich dus nauwelijks, als zichtbaar licht, afbuigen door lenzen of terugkaatsen door spiegels. Zichtbaar licht is te temperen met een zonnebril, maar om gammastraling tegen te houden moet zo'n 'bril' loden glazen van centimeters of zelfs meters dik hebben. Ontwerpers van telescopen zoeken daarom naar materialen die gammafotonen efficiënt tegenhouden.

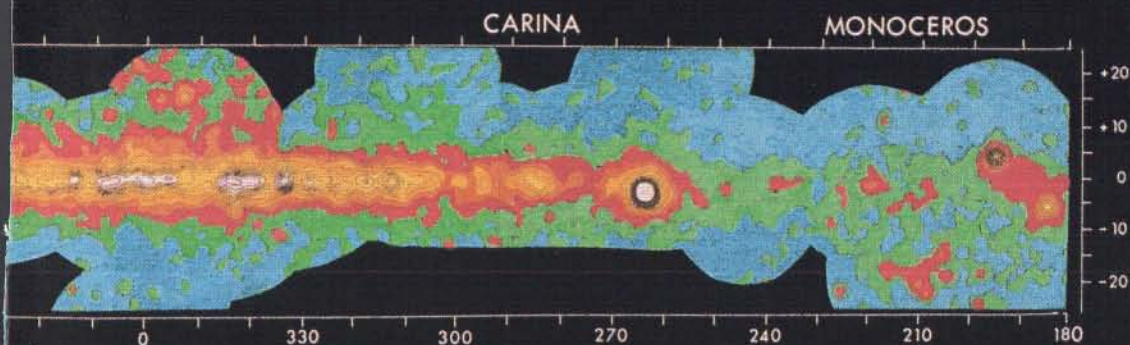
Gezien deze problemen leverden de eerste satellieten met een gammadetector aan boord teleurstellende resultaten op. Explorer-11 registreerde in 1961 slechts enkele gammafotonen, OSO-3 in 1967 een totaal van 631. De eerste grote satelliet, de Small Astronomy Satellite (SAS-2) van NASA, hield er mee op na een half jaar zeer actief te zijn geweest en registreerde toch maar 8000 fotonen.

De grote doorbraak forceerde COS-B. Deze satelliet was het resultaat van Europese samen-

werking. Eind jaren zestig vatten Europese ruimteonderzoekers het plan op om in navolging van de Amerikanen een gammasatelliet te bouwen. Vijf groepen uit vier landen (West-Duitsland, Frankrijk, Italië, het Laboratorium voor Ruimteonderzoek in Leiden en de wetenschappelijke afdeling van ESTEC in Noordwijk) legden in juli 1969 hun plan voor aan het European Space Agency (ESA), toen nog ESRO, dat het voorstel opnam in zijn wetenschappelijk programma. Zes jaar later op 9 augustus 1975 werd COS-B van de luchtmachtbasis Vandenberg in Californië gelanceerd. De bouwers hoopten dat de bijna 300 kg zware satelliet het in een sterk elliptische baan over de polen minstens drie jaar vol zou houden. Het werden er bijna zeven. Op 25 april 1982 zette men de nog werkende satelliet uit. Maar in die zeven jaar heeft COS-B ruim 100000 fotonen geregistreerd die vrijwel de hele basis van de huidige gammasterrenkunde vormen.

Het energiegebied

Het energiegebied waarover de gammastraling zich uitstrekt, is zeer groot. Het gaat van ongeveer 10^5 eV tot 10^{20} eV, een gebied dat groter is dan het gebied van radiogolven tot röntgenstraling (10^{-8} eV tot 10^5 eV). Astronomen verdelen het grote gammagebied in ruwweg vier stukken. Het laagenergetische van 100 keV tot ongeveer 1 MeV, het middengebiet tussen circa 1 MeV en 30 MeV, het hoog-



energetische gebied vanaf 30 MeV tot 5000 MeV en het ultra-hoogenergetische gebied van 5000 MeV tot 10^{14} MeV. Deze grenzen zijn overigens niet scherp te trekken, dus de gebieden overlappen elkaar. In grote lijnen verschillen de vier gebieden onderling echter evenveel als radiostraling en zichtbaar licht dat doen. Het mag dan ook geen wonder heten dat de telescopen die voor de verschillende energiegebieden ontworpen worden, nogal van elkaar afwijken wat betreft de technische uitvoering en vooral de werking. Elk gebied heeft een overheersend effect dat optreedt wanneer een gammafoton met materie reageert. Voor het lage energiegebied is dat het foto-elektrisch effect, in het middengebiet overheerst het Comptoneffect, voor hogere energieën is dat paarvorming en voor de ultrahoge energieën gebruiken astronomen het Cerenkov-effect. Deze vier effecten passeren hierna de revue.

Het foto-elektrisch effect

De laagenergetische fotonen met energieën tussen 0,1 MeV en 1 à 2 MeV zijn het makkelijkst te registreren, omdat ze minder doordringend zijn. De werking van een gammate-

Links: Op 9 augustus 1975 werd de Europese satelliet COS-B vanaf de lanceerbasis Vandenberg in Californië gelanceerd. De satelliet, waaraan het Laboratorium voor Ruimteonderzoek in Leiden meewerkte, registreerde gammastraling uit het heelal. COS-B was de eerste succesvolle gammatelescoop.

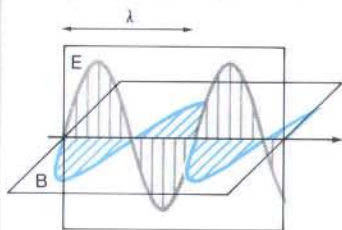
Elektromagnetische straling

Het spectrum van elektromagnetische straling is enorm uitgebreid. De golflengten lopen van radiogolven via het zichtbare licht tot gammastraling die door radioactieve stoffen wordt uitgezonden.

Elektrische en magnetische verschijnselen hangen met elkaar samen. Dat blijkt als in een spoel die in een elektrische keten is opgenomen een magneet heen en weer wordt bewogen. Er gaat dan een wisselstroom in de keten lopen.

Maxwell stelde in 1864 een samenhangende theorie over elektromagnetische straling op. Hij veronderstelde dat licht een elektromagnetische golf is. Trillende lading in het atoom zou dan voor een periodiek veranderend elektrisch veld moeten zorgen. Behalve het feit dat de lichtsnelheid en de elektromagnetische voortplantingsnelheid een gelijke waarde hebben, had hij ook als argument dat een magnetisch veld in staat is de polarisatierichting van licht te beïnvloeden.

In 1888, dus nadat Maxwell de theorie ontwikkelde, toonde Herz het bestaan van elektromagnetische golven aan. Hij onderbrak daartoe een stroom enkele honderdduizenden malen per seconde en kon aantonen dat daardoor een elektromagnetische golf ontstond. Hij kon daarvan



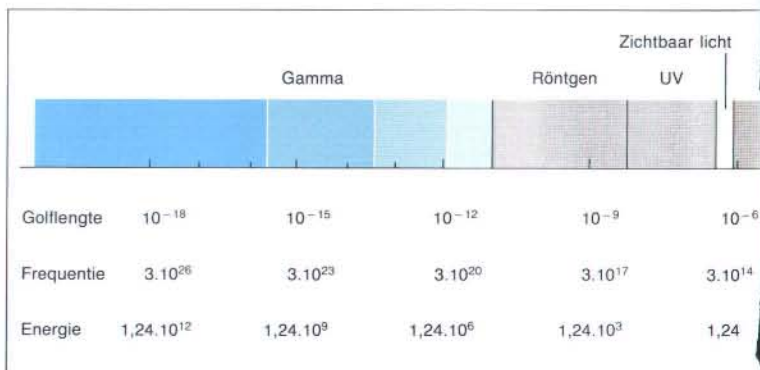
Boven: Fig. I-1. Elektromagnetische golven zijn elektrische en magnetische velden die zich in de ruimte voortplanten. Hun veldsterkte varieert in de tijd.

Rechts: Fig. I-2. Gammastralen vinden we aan de hoog-energetische kant van het spectrum van de elektromagnetische straling. De vier tintverschillen in het gebied van de gammastralen laten de verdeling van de vier detectiemethoden zien.

de golflengte meten. Uit frequentie en golflengte berekende hij de golfsnelheid die precies de voorspelde waarde van de lichtsnelheid had: $3 \cdot 10^8 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$. Vanaf die tijd was men op zoek naar elektromagnetische straling van andere golflengten. Als eerste kwamen de onzichtbare maar voelbare soorten straling in aanmerking. De golflengte van warmtestraling van een kachel bleek wat groter te zijn dan van rood licht. Daarom sprak men van infrarode straling. De elektromagnetische straling met golflengten wat kleiner dan het violette licht wordt ultraviolet licht genoemd. Die bleek verantwoordelijk voor het bruinen van de huid.

Het hele spectrum is inmiddels onderzocht en er zijn talloze toepassingen. Radiogolven liggen in het golflengtegebied van 10000 tot ongeveer 10 m. Televisie 'zit' op golflengten van 10 m tot 50 cm. Radar gebruikt golflengten van 50 tot 1 cm en zelfs nog wel korter. Aan de ultraviolette kant van het spectrum zijn talloze kortgolvlige stralingen gevonden: röntgenstraling en gammastraling van verschillende 'hardheden' en met uiteenlopende eigenschappen. Al met al bevat het elektromagnetische spectrum golflengten van 10^7 tot 10^{-20} m.

Elektromagnetische golven verschillen wezenlijk van andere golven die we kunnen zien in een wateroppervlak, of die we kunnen horen als geluid. Elektromagnetische golven kunnen zich in vacuüm voortplanten, om een groot verschil te noemen, en er is dan ook geen sprake van trillende materie, maar van elektrische en magnetische velden die zich in de ruimte voortplanten terwijl hun grootte in de tijd varieert.



A.E. van der Valk*Natuurkundendidaktiek RU Utrecht*

Elektromagnetische golven worden in de theorie soms als golven en soms als deeltjes of fotonen behandeld. Dat laatste is het geval als er sprake is van interactie tussen elektromagnetische straling en materie. Een foton is een deeltje met een gekwantiseerde energie:

$$E = h \cdot f$$

waarin f de frequentie van de straling is, h de constante van Planck ($6,67 \cdot 10^{-34}$ Js).

In 1905 stelde Einstein het equivalentieverschijnsel van massa en energie op:

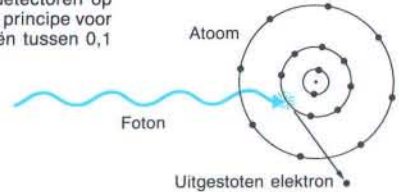
$$E = m \cdot c^2$$

Een foton heeft dus volgens dit principe verassend genoeg ook een massa.

Wanneer in de theorie het golfverschijnsel wordt gebruikt zijn meestal verschijnselen als buiging, interactie of breking aan de orde. Als een elektromagnetische golf een ondoordringbaar obstakel tegenkomt zal hij er aan de randen omheen buigen en aan het oppervlak terugkaatsen. Is de barrière kleiner dan de golflengte dan overheerst de buiging: de golf kaatst nauwelijks terug. Als het object veel groter is, wordt vrijwel alleen terugkaatsing waargenomen. Radiogolven met een golflengte van 100 m bijvoorbeeld hebben vrijwel geen last van grote gebouwen, daar buigen ze omheen. Televisiegolven (golflengte circa 1 m) hebben wel last van een gebouw: in de schaduw ervan is het slecht TV-kijken. Ook kunnen dubbele beelden ontstaan door terugkaatsing.

Infrarood	Sub-millimeter	Radiogolven
10^{-3}	1	10^3 m
$3 \cdot 10^{11}$	$3 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^5$ Hz
$1,24 \cdot 10^{-3}$	$1,24 \cdot 10^{-6}$	$1,24 \cdot 10^{-9}$ eV

Fig. 4. Wanneer een gammafoton tegen een elektron in een atoomschil botst en daarbij alle energie overdraagt is er sprake van het fotoelektrisch effect. In gammatelescopen bouwt men detectoren op grond van dit principe voor fotonenergieën tussen 0,1 en 2 MeV.



lescoop voor lage energieën is daarom vrij rechttoe rechtaan. De telescoop bestaat uit een detector met daarop een rooster. De detector is meestal een natriumjodide-kristal, waarin alle energie van het gammafoton wordt geabsorbeerd via het foto-elektrisch effect (zie fig. 4). In de detector veroorzaakt het foton een lichtflitsje dat met fotoversterkers wordt omgezet in een elektrisch stroompje.

Het rooster met de rechthoekige gaten is bedoeld om alleen fotonen die recht van voren komen door te laten. Het is meestal gemaakt van een zwaar metaal, bijvoorbeeld lood of wolfram. De functie van het rooster is te illustreren met een lange buis, waar iemand doorheen kijkt. De buis beperkt het gezichtsveld sterk en alleen licht dat recht van voren komt kan tot het oog doordringen. Zo werkt het rooster ook. Alleen fotonen die recht van voren komen kunnen ongehinderd tot het kristal doordringen. Komen ze te schuin binnen dan botsen ze tegen de metalen wand en worden geabsorbeerd.

Deze techniek is gebruikt in een van de gammatelescopen op het Gamma Ray Observatory die de NASA in 1990 lanceert, het Oriented Scintillator Spectrometer Experiment (OSSE). Boven op een 20 cm dik natriumjodide-kristal van 30 cm diameter zit een rooster van wolfram. Eén roostergat heeft een oppervlakte van $1,5 \times 4$ cm en een lengte van 20 cm. Een eenvoudige berekening leert dan dat het kristal een gebied aan de hemel van ongeveer $8^\circ \times 22^\circ$ tegelijk ziet. Helaas kan zo'n instrument slechts een wazig beeld van de hemel registreren, want alleen details die meer dan enkele graden uit elkaar staan zijn te onderscheiden en dat is voor astronomische begrippen een

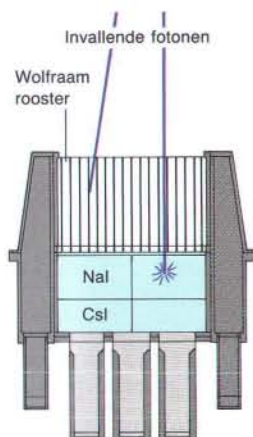
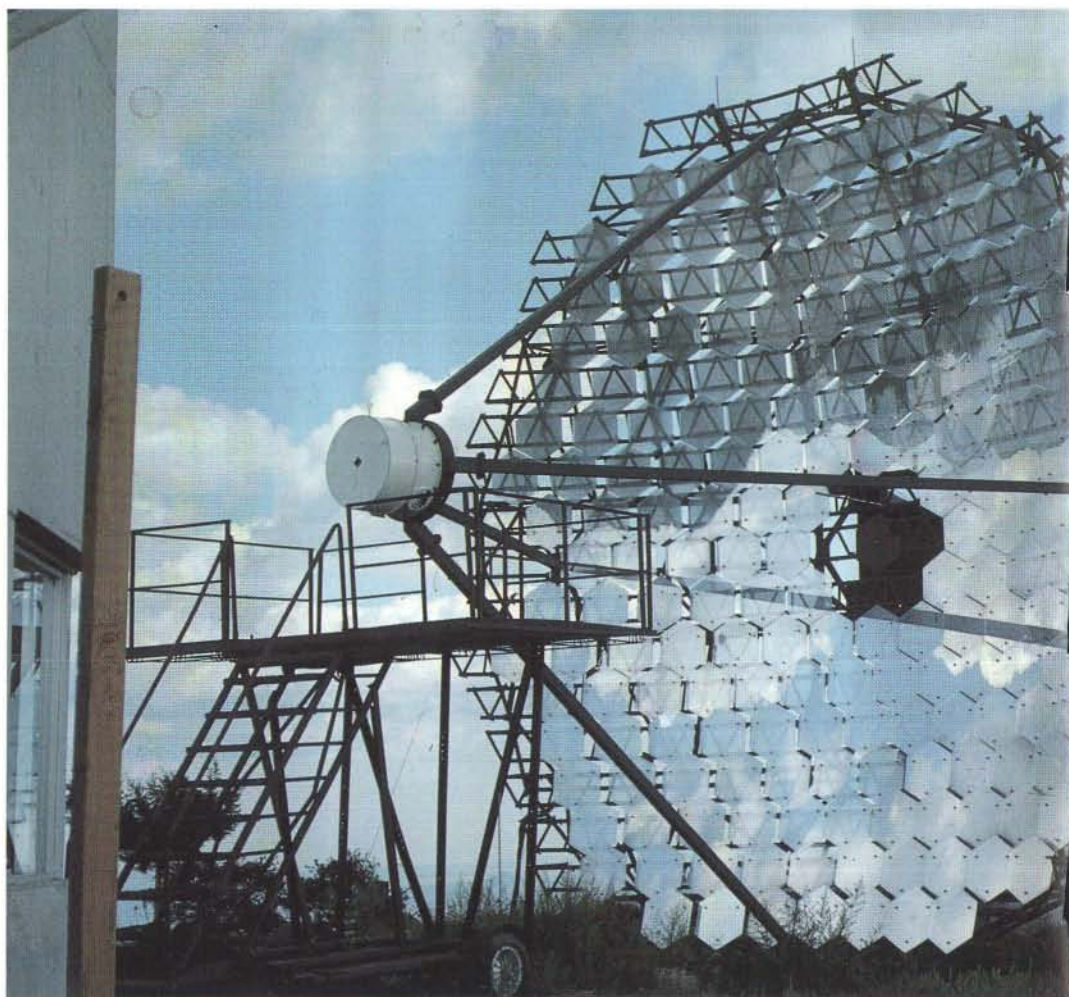


Fig. 5. Het Oriented Scintillator Spectrometer Experiment (OSSE) is een gammatelescoop voor het detecteren van laagenergetische gammastraling tussen ongeveer 0.1 en 5 à 10 MeV. Afgebeeld is één van de vier detectoren. Op een NaI-kristal staat een rooster dat alleen recht van voren komende straling doorlaat. OSSE is een van de experimenten op NASA's Gamma Ray Observatory.

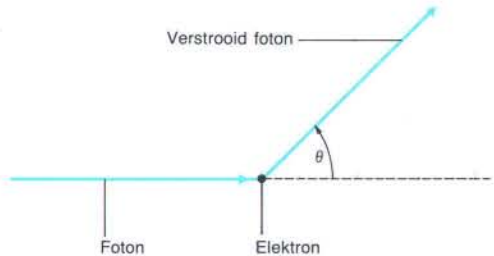
zeer matig scheidend vermogen. In principe kan dit verbeterd worden door het rooster langer te maken. Een lengte van 100 cm maakt het gebiedje al $1.5^\circ \times 4.5^\circ$. Maar behalve dat het gewicht van de telescoop fors toeneemt, wat bijna een doodzonde is in de satellietbouw, moet er meer worden geschipperd. Met een lang rooster kan men weliswaar een klein gebiedje vrij goed bekijken, maar het betekent ook dat de satelliet voortdurend van positie moet veranderen om een nieuw stukje hemel te bekijken. Dat leidt tot conflicten met andere instrumenten op de satelliet die vaak een vrij lange tijd nodig hebben om gegevens te verzamelen.



Het Compton-effect

Voor gamma-energieën tussen 1 en 20 MeV wordt het Compton-effect gebruikt om de richting en de energie van het gammafoton te bepalen (zie fig. 6). De Engelsman Arthur Compton beschreef in 1922 dat bij dit effect een gammafoton bij een botsing met een elektron slechts een gedeelte van zijn energie afgeeft aan dat elektron. Na de botsing gaat het foton verder in een andere richting met verminderde energie. Des te meer energie wordt afgegeven, des te groter is de richtingverandering. Dit effect maakt het mogelijk om een gammatelescoop voor energieën tussen 1 en 20 MeV te maken.

Op het eerder genoemde Gamma Ray Observatory komt een gammatelescoop te staan die werkt met het Comptoneffect. Aan de bouw van deze telescoop werken onderzoekers van het Laboratorium voor Ruimteonderzoek in Leiden mee, samen met drie andere instituten in Europa en de Verenigde Staten. COMPTEL, zoals de Comptontelecoop heet, bestaat uit twee platforms die op anderhalve meter van elkaar af staan, waarop detectoren zijn gemonteerd. Het eerste platform heeft zeven detectoren waarin een detectievloeistof zit, die zeer geschikt is om binnenkomende gammafotonen te verstrooien via het Comptoneffect. In de gevallen dat dit lukt (voor 1 MeV fotonen



Boven: Fig. 6. Gammastraling met energieën tussen ongeveer 1 en 20 MeV reageert via het Compton-effect met materie. Een foton botst tegen een elektron in een atoom en geeft een deel van zijn energie af. Het gammafoton gaat met verminderde energie en in een andere richting verder. De grootte van de richtingsverandering hangt af van de hoeveelheid afgegeven energie.

Links: Op Mount Hopkins in Arizona staat de Fred Whipple Sterrenwacht. De daar opgestelde telescopen proberen Cerenkov-lichtflitsjes op te vangen die het gevolg zijn van inslag van een ultrahoog-energetisch gammafoton in de atmosfeer. Deze telescoop heeft een diameter van ongeveer 10 meter en bestaat uit verschillende spiegel-segmenten. De kwaliteit van de spiegels hoeft niet zeer goed te zijn, omdat ze uitsluitend de hoeveelheid licht meten.

is dat bij ongeveer vijf op de honderd) ontstaat bij de botsing een lichtflitsje in de vloeistof. De sterkte van het lichtflitsje is een maat voor de afbuiging. Voor de uiteindelijke richtingbepaling moet ook de energie van het doorgaande foton gemeten worden. Dat gebeurt met veertien natriumjodide-kristallen, die op het tweede platform zitten. Zij moeten de energie van de verstrooide fotonen via het foto-elek-

trisch effect meten (zie fig. 2). De richting-bepaling is zeer gecompliceerd. De astronoom weet in eerste instantie alleen maar de weg die het verstrooide foton tussen de beide detectoren heeft afgelegd en de hoek waarover het foton is verstrooid. Die combinatie geeft helaas geen éénduidige informatie over de richting van het oorspronkelijke foton (zie fig. 7). De astronoom blijkt alleen maar een cirkel op de hemelbol aan te kunnen geven waar het foton vandaan had kunnen komen. Vanaf elk punt op deze cirkel kan een foton vertrekken dat in de telescoop exact dezelfde weg aflegt. Daarom moeten er nog twee fotonen van de te ontdekken bron komen met een andere combinatie van verstrooiingshoek en afgelegde weg in de telescoop. Voor elk foton bestaat er dan een cirkel aan de hemel. De drie cirkels hebben een gemeenschappelijk snijpunt op de positie van de bron aan de hemel.

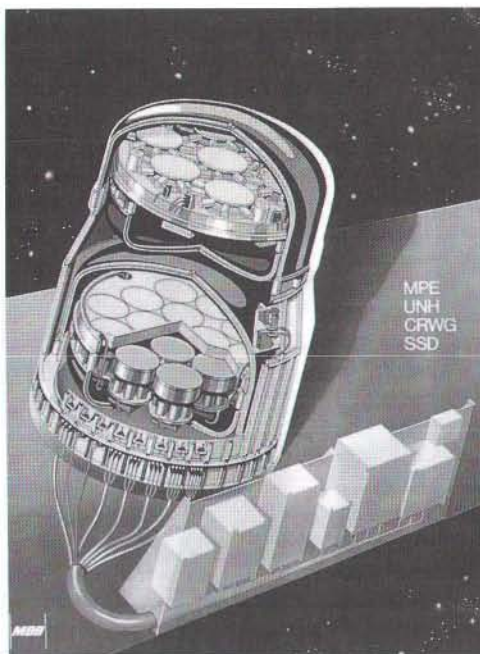
Onderzoekers ontwikkelen op dit moment echter betere methoden, omdat de cirkelmethode eigenlijk niet alles uit de gegevens haalt wat mogelijk is. Met nieuwe methoden hopen ze een resolutie van 1 à 2 graden aan de hemel te krijgen.

Paarvorming

Voor het detecteren van hoogenergetische gammafotonen met energieën tussen 30 MeV en 5000 MeV, maken de ontwerpers van het Gamma Ray Observatory gebruik van het paarvormingseffect. Wanneer een gammafoton in de buurt van een zware kern komt, kan het spontaan veranderen in één elektron en één positron, het anti-elektron.

De creatie van de deeltjes geeft onderzoekers de mogelijkheid de richting van het oorspronkelijke foton te bepalen. De wet van behoud van impuls zegt dat de banen van het elektron en zijn anti-deeltje in een V-vorm vanuit hun ontstaanspunt vertrekken, zodat de punt van de V wijst in de richting van waaruit het foton kwam. Dat V-vormige spoor willen de astronomen kunnen reconstrueren.

Om aan deze wens te kunnen voldoen gebruiken de ontwerpers een vonkenkamer. Een vonkenkamer is een met gas gevuld tankje (ongeveer 25 x 25 x 25 centimeter was dat in COS-B), waarin duizenden metalen draden zijn gemonteerd. Om het paarvormingsproces uit te lokken, zitten er een aantal dunne platen van het zware element wolfram in de tank.

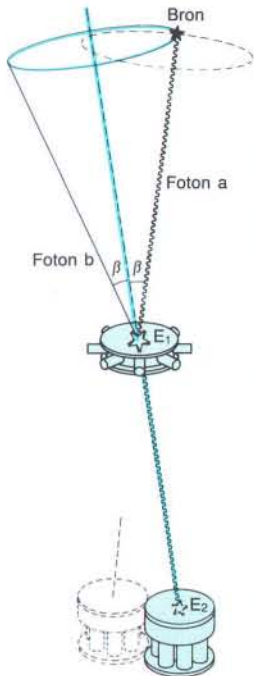


De paarvorming treedt immers op in de buurt van zware kernen. Wanneer na een paarvorming een deeltjespaar door zo'n vonkenkamer vliegt, ioniseert het langs de V-vormige baan een grote hoeveelheid gasatomen. Die worden naar metalen draden getrokken die onder hoogspanning staan en onderweg ioniseren ze op hun beurt weer andere gasatomen. Uit de informatie op welke draden een vonk is terechtgekomen, kan het V-vormige spoor door de tank worden gereconstrueerd. Het scheidend vermogen dat zulke telescopen halen ligt in de buurt van een halve graad; dat betekent dat een puntbron aan de hemel er voor de telescoop zo groot als een volle maan uitziet.

De nieuwste telescoop met een vonkenkamer is EGRET, de opvolger van COS-B, die met OSSE en COMPTEL op het Gamma Ray Observatory van NASA komt te staan en volgens planning in 1990 met een Space Shuttle wordt gelanceerd.

Het Cerenkov-effect

Een heel apart hoofdstuk vormen de vrijwel ongreepbare ultrahoogenergetische fotonen. Ze hebben energieën die kunnen oplopen tot liefst 10^{20} eV. Gezien deze hoge energieën lijkt



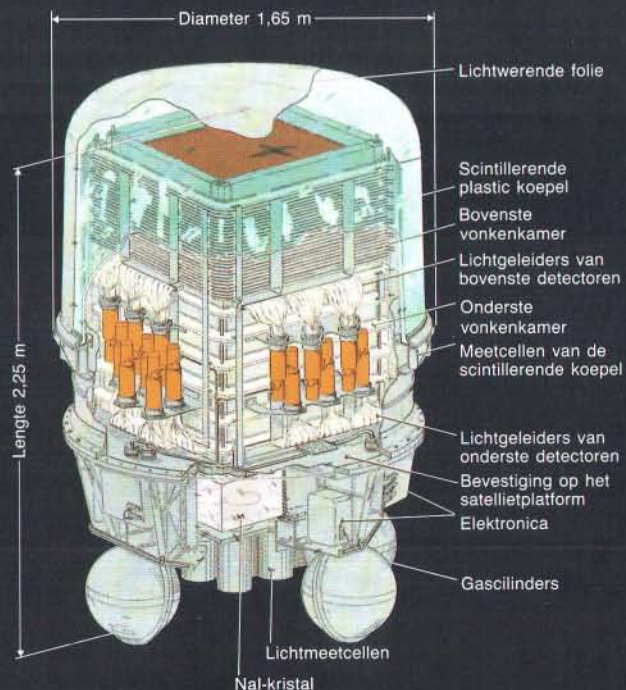
Geheel links: COMPTEL is een op het Compton-effect gebaseerde gammatelescoop. Het is een van de vier instrumenten op het in 1990 te lanceren Gamma Ray Observatory. Het bovenste platform bevat zeven detectoren die binnenkomende gamma-fotonen verstrooien. Anderhalve meter daaronder staan op een tweede platform veertien detectoren die de verstrooide fotonen meten.

Links: Fig. 7. Een gamma-foton slaat in een detector van COMPTEL en verliest daar energie E_1 . Het afgebogen foton, hier in kleur getekend, kan daarna in een tweede detector worden waargenomen. De bron van deze inslag kan op de in kleur getekende cirkel liggen. Daarom zijn er voor de precieze plaatsbepaling van een bron meerdere gedetecteerde fotonen nodig met verschillende verstrooiingshoeken.

het volstrekt onmogelijk dat er een instrument bestaat dat dergelijke fotonen kan stoppen.

Toch is het er: de dampkring. De plaaggeest voor vele astronomen komt hen nu te hulp. In de onderste 20 kilometer van de luchtlage, op enkele kilometers hoogte, botsen soms ultra-hoogenergetische fotonen met luchtdeeltjes. Tijdens deze klap vormen zich allerlei deeltjes, vooral elektronen, mu-mesonen en protonen. Deze geladen deeltjes krijgen zoveel snelheid dat ze sneller gaan dan het licht *in lucht* (die ongeveer 0,9997 maal de lichtsnelheid in vacuüm is). Zodra de deeltjes boven deze kritische snelheid komen, produceren ze licht langs het spoor. Dit is het Cerenkov-effect. Het licht breidt zich in een trechtervorm naar de grond uit. De punt van de trechter wijst naar waar het foton vandaan kwam. De lichtintensiteit is direct onder het botsingspunt het grootst. Verder naar buiten neemt de intensiteit snel af. Onderzoekers proberen nu met een aantal grote, een eindje uit elkaar staande telescopen, het verloop van de lichtintensiteit te registreren.

De Energetic Gamma Ray Experiment Telescope is een telescoop voor hoog-energetische gammastraling (meer dan 30 MeV). Hij gebruikt hetzelfde detectieprincipe als zijn voorgangers SAS-2 en COS-B, de vonkenkamer. Maar nieuwere technieken maken de telescoop een stuk gevoeliger. EGRET zal vanaf het Gamma Ray Observatory zijn waarnemingen gaan doen.



Achteraf kan men dan het punt met de hoogste lichtintensiteit berekenen en zo de richting van het foton met een nauwkeurigheid van enkele graden bepalen. Op Mount Hopkins in Arizona (VS) staan enkele schotels van tien meter doorsnee, die overigens uit meerdere spiegels zijn samengesteld, waarmee astronomen nacht na nacht gegevens verzamelen. De Krabnevel springt daarbij in het oog, zoals die dat bij elke soort straling doet.

Achtergrondstraling

Achtergrondstraling vormt voor astronomen een groot probleem. Het is een verzameling fotonen en deeltjes waar een astronoom niet in is geïnteresseerd, maar die niet zouden zijn te onderscheiden van de wel interessante fotonen, tenzij maatregelen worden genomen.

Protonen en elektronen uit de kosmische straling veroorzaken bijvoorbeeld in vrijwel alle detectoren eenzelfde patroon als gammafotonen. Een ander voorbeeld: de aardatmosfeer zendt relatief zeer veel gammastraling uit door het voortdurende bombardement van kosmische stralingsdeeltjes. Een telescoop die in de ruimte kijkt heeft vaak de Aarde achter zich staan en via de achterkant van het instrument komen daardoor zeer veel gammafotonen binnen, die van een voor astronomen op dat moment oninteressant object komen.

Vaak is de hoeveelheid achtergrondstraling veel groter dan de straling die van hemelobjecten komt. Onderzoekers zoeken daarom steeds weer naar slimme foefjes om deze 'valse' fotonen eruit te pikken. In de loop der jaren zijn er dan ook vele gevonden.

Kosmische stralingsdeeltjes worden bijvoorbeeld bestreden met koepels van scintillerend plastic waar de detectoren mee worden omhuld. In het plastic verraden de protonen zich door een lichtflitsje te veroorzaken, terwijl gammafotonen maar een zeer kleine kans hebben om in het twee tot drie centimeter dikke plastic een reactie te veroorzaken. Als dit toch gebeurt, is dat foton verloren. Maar enkele fotonen verliezen is beter dan veel valse meenemen.

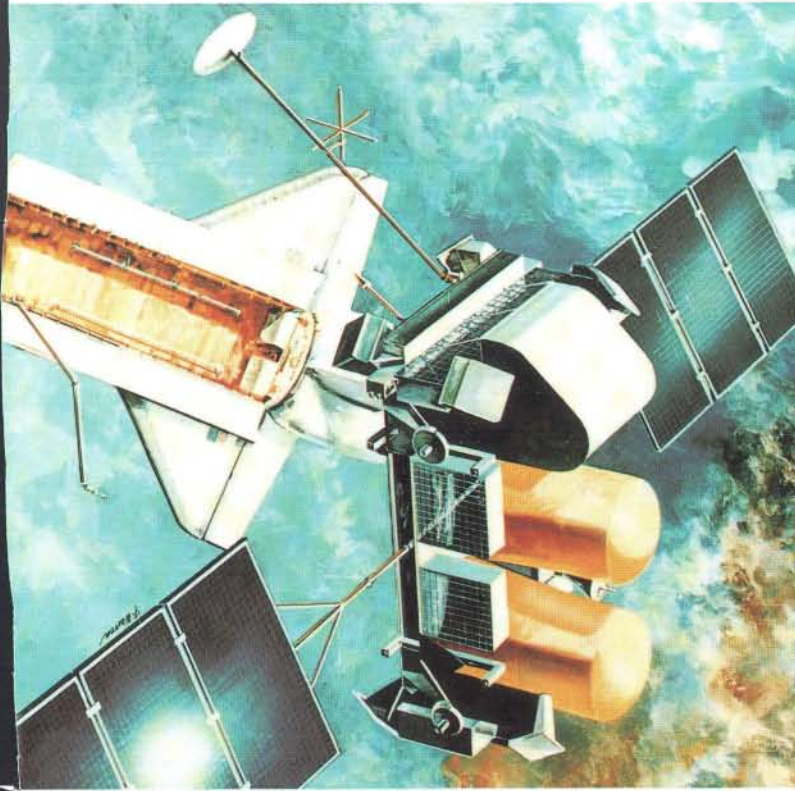
Fotonen die 'door de achterdeur binnenkomen' worden soms met een tijdmeting bestreden. Zij zullen de verschillende detectoren in een verkeerde volgorde aanspreken. In een Comptotelescoop als COMPTEL bijvoorbeeld



beeld moet een foton eerst een detector in het bovenste platform treffen en daarna pas een in het onderste. Een nauwkeurig soort stopwatch in de elektronika meet het tijdsverschil tussen deze twee detecties. Hoewel het tijdsverschil slechts enkele miljardsten van een seconde bedraagt, gooit deze stopwatch vrijwel foutloos de verkeerde fotonen er uit.

Er bestaan vele andere, vaak uiterst subtiële mogelijkheden om achtergrondstraling te herkennen. Meestal zijn ze afhankelijk van het ontwerp en soms geven combinaties van detectoren een buitenkans om een extra truc in te bouwen. In COMPTEL worden bijvoorbeeld alleen fotonen geaccepteerd als de verhouding van de gemeten energieën in beide platformen een bepaalde waarde heeft. Fotonen die in de satelliet ontstaan, na kernreacties door inslagen van kosmische stralingsdeeltjes, worden er op deze manier uitgeplukt.

Aan het eind van de jaren '80 staan er twee lanceringen van gammasatellieten op het pro-



Links: Zo moet het er in 1988 uitzien. Het Gamma Ray Observatory is een nieuw wetenschappelijk prestige object van NASA. Deze 15 ton zware satelliet zal de grootste zijn die ooit voor wetenschappelijke doelen is gelanceerd. Op de satelliet staan vier experimenten om de hemel in gammastraling in kaart te brengen. Op de illustratie zijn dat van boven naar beneden, OSSE, COMPTEL en EGRET. Op alle hoeken zitten de detectoren die samen BATSE vormen.

Uiterst links: Een medewerker van het SRON-laboratorium voor Ruimteonderzoek werkt aan de elektronica voor de COMPTEL-telescoop.

gamma die hopelijk een schat aan gegevens zullen opleveren. De ene is een Frans-Russische samenwerking die de GAMMA-1 bouwt om hoogenergetische gammastraling via het vonkenkamermodel te detecteren. De lanceerdatum moet in het vijfjarenplan 1985-1989 vallen. De tweede is het reusachtige Gamma Ray Observatory, GRO. Deze vijftien ton zware satelliet herbergt vier experimenten die samen de hemel bekijken in vrijwel het gehele energiegebied waarover de gammastraling zich uitstrekt. Drie experimenten, OSSE, COMPTEL en EGRET zijn 'echte' telescopen, terwijl de vierde, de Burst And Transient Spectrometer Experiment (BATSE), een soort monitor is die in actie komt zodra er ergens aan de hemel een plotselinge uitbarsting van gammastraling plaatsvindt. Deze Amerikaanse satelliet, waar het Laboratorium voor Ruimteonderzoek in Leiden aan meewerkt, zal beslist een grote schat aan nieuwe gegevens voor de gammasterrenkunde opleveren.

Literatuur

- Koomen, J.H. de, (1983). *IRAS - Op jacht naar het onzichtbare*. *Natuur en Techniek* 51, 3, 152-171.
Heise, J. en A. Ch. Brinkman, (1974). *De ANS*. *Natuur en Techniek* 42, 8, 458-472.

Bronvermelding illustraties

- ESA, Noordwijk: pag. 300-301, 305 (onder).
Space Science Reviews, Reidel, Dordrecht: pag. 303;
W. Hermsen, Ruimteonderzoek Leiden: pag. 304-305.
MBB, München, pag. 310.
Goddard Space Flight Center, V.S.: pag. 311.
NASA: pag. 312-313.
D. Zirkzee, Ruimteonderzoek Leiden: pag. 312.
J.J. Clear, ESTEC, Noordwijk: pag. 308-309.

ACTUEEL

Nieuws uit wetenschap, technologie en samenleving

natuur en techniek

Giotto ontmoet Halley

In de nacht van 13 op 14 maart scheerde de Europese ruimte-sonde Giotto langs de kern van komeet Halley. Tijdens de tocht naar de kern maakte de Halley Multicolour Camera van het Max-Planck-Institut für Aeronomie in Lindau, Westduitsland, enkele duizenden beelden van de komeet. In een directe TV-uitzending kwamen die beelden vanaf 150 miljoen kilometer van de Aarde in onze huiskamers. De onnatuurlijke kleuren van de

beelden maakten het moeilijk om een indruk te krijgen hoe het er in werkelijkheid uitzag. Gebieden met verschillende kleuren gaven in feite gebieden met een verschillende lichtintensiteit weer. We zijn in het dagelijks leven niet gewend ons bij een dergelijke weergave iets voor te stellen. Om het vreemde effect te verduidelijken en is op het omslag een foto afgedrukt, die dezelfde camera in oktober 1985 van de Aarde heeft gemaakt.

Enkele seconden voor Giotto de kern op 600 kilometer zou passeren, werd hij geraakt door enkele zware stofdeeltjes. Hierdoor ver-

brak zijn verbinding met de grondstations op Aarde. Bij latere analyse is gebleken dat de camera tot op 1900 kilometer van de kern goede beelden heeft doorgegeven.

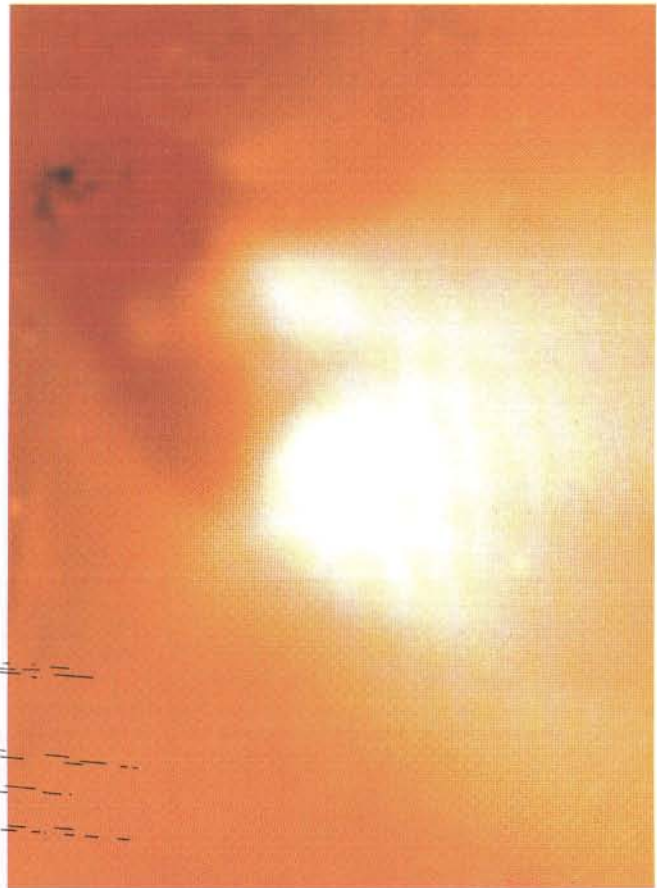
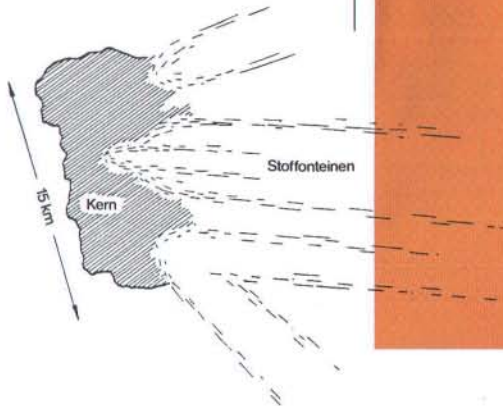
In het wetenschappelijk kamp in Darmstadt was al snel duidelijk dat Giotto revolutionaire beelden van de kern had gemaakt. Op de weergegeven detailopname is te zien dat de kern de vorm heeft van een aardappel, of een ongepelde pinda. Ook zijn duidelijk stoffonteinen herkenbaar. Uit nadere analyses zullen beslist meer details volgen.

Er zijn al enkele verrassingen aan het licht gekomen. De kern van komeet Halley is bijna driemaal groter dan verwacht. Hij bestaat gewoon uit één stuk en heeft een doorsnede van 15 kilometer. Zijn hoogte is waarschijnlijk 8 kilometer. Verder is de kern veel zwaarder dan verwacht. Het blijkt een van de donkerste voorwerpen in ons zonnestelsel te zijn. Ook heeft men een ander idee gekregen over de rotatie van de kern. Aardse waarnemingen hebben uitgewezen dat de kern ongeveer eenmaal in de 52 uur om zijn as roteert. De rotatie-as zou daarbij bijna loodrecht op de denkbeeldige verbindingslijn tussen de komeet en de Zon staan. Op grond van de beelden van de kern is men tot de voorlopige conclusie gekomen, dat zijn rotatie-as veel meer naar de Zon is gericht. Deze andere oriëntatie van de rotatie-as betekent dat verschillende gebieden op de kern veel langer achteraan aan de zonnewarmte worden blootgesteld dan was vermoed. Uit infraroodmetingen is gebleken dat de temperatuur aan het oppervlak van de kern minstens 300 K is. Dat is zeker 100 K warmer dan werd aangenomen. Deze waarneming bevestigt dat



Halley Multicolour Camera fotografeerde op 13 maart 1986 op een afstand van 25 000 kilometer de kern van komeet Halley. De verschillende kleurintensiteiten geven verschillende helderheidsniveaus van licht naar donker aan. De kern van komeet Halley bevindt zich linksboven het midden van de foto. De stoffonteinen lichten fel op door reflectie van het zonlicht, dat van rechts onder invalt. De afmeting van het beeldoppervlak is 111x111 km. (Foto: Max Planck Institut für Aeronomie)

Deze foto werd genomen met de Halley Multicolour Camera op 13 maart 1986 op een afstand van 18500 kilometer van de kern van komeet Halley. De kern is zichtbaar in de linker bovenhoek. Zelfs de donkere delen zijn zichtbaar. Het heldere gebied is een stoffontein die vanuit de naar de Zon gekeerde kant van kern naar buiten spuit. Deze stoffontein verkrijgt zijn grote helderheid door reflectie van het zonlicht dat van rechtsonder invalt. De afmeting van het beeldoppervlak is 35x35 km. De tekening onder geeft de situatie op de foto nog eens schematisch weer. De kern van de komeet is onregelmatig van vorm en produceert op enkele plaatsen een stoffontein. (Foto: Max Planck Institut für Aeronomie).



de kern zijn oppervlak lang achtereen aan de zonnewarmte bloot stelt.

De kern is waarschijnlijk bedekt met een enkele centimeters dikke laag stof, die door de zonnewarmte flink kan opwarmen. Bij voldoende verwarming sublimiert het onderliggende ijs. De gevormde waterdamp spuit vervolgens uitsluitend uit enkele breuken in de stoflaag naar buiten en neemt daarbij ook stof van het oppervlak mee. Het stof dat Giotto heeft waargenomen bevindt zich inderdaad voornamelijk geconcentreerd in straalstromen (de stoffontenen) en er is niet zoiets als een homogene atmosfeer van stof rond de kern

waargenomen. De stoflaag op de kern verklaart ook waarom hij donkerder is.

Giotto heeft de tocht door de kop van komeet Halley overleefd en is na een aantal koerscorrecties weer op weg terug naar de Aarde. De ruimteverkenner is nog redelijk intact. Over enige tijd zal besloten worden of Giotto na een rondje om de Aarde in juli 1990 nog eens naar een volgende komeet wordt gestuurd.

Betrouwbare resultaten, ook van de andere instrumenten op de satelliet, zullen pas over enkele weken naar buiten komen. Het is echter wel duidelijk dat ons beeld van kometen moet worden bijgesteld en dat de leerboeken over

kometen binnenkort allemaal herzien moeten worden. Een uiteindelijke presentatie van het nieuws van de Halley-vloot, samen met dat van de grondwaarnemers, zal worden gegeven op het grote *20th ESLAB Symposium on the Exploration of Halley's Comet*, dat van 27-31 oktober 1986 wordt gehouden in Heidelberg.

dr. P. van Nes

*Stichting Ruimteonderzoek Nederland
Utrecht*

Optische telescoop van 16 m

De European Southern Observatory (ESO), een samenwerkingsverband van Europese landen op sterrenkundig gebied waar ook Nederland in deelneemt, heeft plannen bekend gemaakt voor de bouw van een optische telescoop met een 'spiegeldiameter' van maar liefst 16 meter. Het instrument zal zichtbaar licht en nabij infrarood kunnen detecteren van bronnen aan de hemel die op het moment vanaf Aarde nog niet of nauwelijks waarneembaar zijn. Het ESO is gevestigd in Chili op de berg La Silla, die 2400 m hoog, 600 km ten noorden van Santiago ligt. In 1990, het geplande jaar van gereedkomen, zal de telescoop tot de grootste ter wereld behoren.

Op dit moment is de telescoop in zijn ontwerpfasen, er zijn nog diverse aanpassingen mogelijk op technisch gebied. De ESO probeert voor eind 1987 de benodigde 350 miljoen gulden bijeen te hebben om de de sterrenkijker te

kunnen bekostigen. De telescoop gaat voorlopig onder de naam VLT door het leven, wat simpelweg staat voor Very Large Telescope. Hij zal niet met een spiegel van 16 meter middellijn gebouwd worden, maar als synthesescopes die zijn signalen van vier naast elkaar opgestelde spiegels ontvangt. Zulke telescopen zijn eerder voor het opvangen van radiostraling gebouwd. De synthesescopes in Westerbork is er een voorbeeld van.

Een optische telescoop van dit formaat is nog nooit gebouwd. Er zullen dan ook diverse technologische hoogstandjes nodig zijn om hem te realiseren. De ESO verwacht daarom een belangrijke spin-off voor de deelnemende industrieën, wat natuurlijk weer een argument is om de diverse regeringen geld beschikbaar te laten stellen. De optische technologie zal er ondermeer door gestimuleerd worden.

(ESO persbericht)



Een maquette van de voorgestelde ESO 16 meter optische telescoop. Het instrument bestaat uit vier gekoppelde spiegeltelescopieën. (Foto: ESO, Garching, Westduitsland)

Kwik in hypofyse

Dode tandartsen hebben waarschijnlijk relatief veel kwik in hun hypofyse. De Zweedse Nylander onderzocht de hypofyse van drie dode tandartsen en van vier niet-tandartsen. De verschillen in kwikgehalte van de hypofyse waren groot. De tandartsen bevatten 135 tot 300 nanogram kwik per gram hypofyse. De mensen uit de controlegroep 5 tot 97 ng·g⁻¹ hypofyse.

Nylander publiceerde het resultaat in het vooraanstaande Engelse medische tijdschrift *The Lancet*. Hij bepaalde ook het kwikgehalte in de hersenschors van zijn zeven autopsiegevallen. De kwikconcentraties daarin liepen niet veel uiteen. Nylander keek naar de hersenschors omdat hij met zijn medewerkers in een eerder artikel een verband beschreef tussen het aantal amalgaamvullingen en het kwikgehalte in de hersenen. Amalgaam is een legering van kwik en (meestal) tin. Dat verband was eenvoudig: hoe meer amalgaamvullingen een overledene had, des te meer kwik vonden de Zweedse onderzoekers in de hersenschors.

Hoe het kwik in de hersenschors terecht komt is niet bekend. De drie overleden tandartsen die Nylander onderzocht bleken geen relatief hoog kwikgehalte in hun hersenschors te hebben, maar wel in hun hypofyse. De verwachting is dat tandartsen een verhoogd kwikgehalte in hun hypofyse oplopen via hun luchtwegen. Bij het aanmaken van amalgaam en het aanbrengen van de vullingen komt kwikdamp vrij. Vooral bij het afwerken van een vulling staan tandartsen er vaak met hun neus bovenop. Hoewel kwik een schadelijk element is, laat Nylander zich er niet over uit of de gemeten concentraties ook kwaad kunnen en of ze de werking van de hypofyse verstoren.

Wim Köhler

Mens & Wetenschap

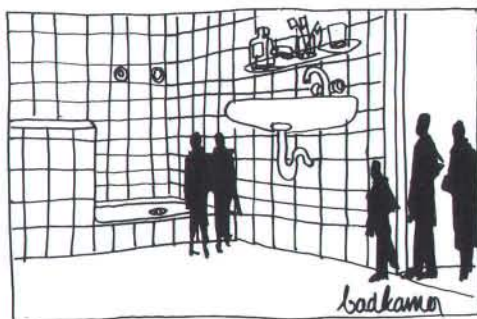
Wat weet de buitenwereld van de universiteit?

Meestal weinig of niets. Over de studie is vaak wel het een en ander bekend, maar over het onderzoek — en vooral de veelheid van dat onderzoek — dat aan die universiteit wordt gedaan, dringt maar weinig naar buiten door.

Dat is voornamelijk de schuld van de universiteiten zelf. Tot nu toe heeft geen enkele (Nederlandse) universiteit laten zien waar ze

daar op de universiteit wordt gedaan en wat de samenleving daarvan heeft. Daarom duurt de manifestatie ook maar een week. Langer kunnen onderzoekers, medewerkers en studenten niet uit hun werk, om in de stand hun eigen onderzoek toe te lichten. De gemiddelde bezoeker zal aan de opbouw en de entourage van het gepresenteerde onderzoek, met de duidelijke en eenvoudige verwijzing op tekstborden, ge-

perspectief te laten zien. Vanuit dat huis, met die alledaagse dingen, wordt de samenhang met een aantal onderzoeksonderwerpen duidelijk gemaakt. Bijvoorbeeld, vanaf vloertegels in de huiskamer de relatie met huisvuil en allergie of met chronische longaandoeningen als astma. De Utrechtse universiteit werkt intensief samen met het Astmafonds. Of neem het voor kinderen zo gevaarlijke gootsteenkastje. In Utrecht is het Nationaal Vergiften Informatie Centrum gevestigd, waarheen artsen dag en nacht kunnen opbellen als ze met een vergifti-



mee bezig is, waar al die onderzoekers zich van dag tot dag mee bezighouden.

Begin mei, om precies te zijn van 3 tot en met 11 mei, zal de Rijksuniversiteit Utrecht ruim een week lang precies dát gaan doen. In een grootse manifestatie in de Jaarbeurs toont ze waar al die onderzoekers mee bezig zijn, hoe dat verbonden is met andere maatschappelijke instellingen en met bedrijven en wat al dat onderzoek voor de maatschappij betekent. Het is geen tentoonstelling van wetenschappelijk onderzoek, met posters in wetenschappelijke taal en met apparaten waaraan aan de buitenkant niets is te zien. Het is wel een overzicht van 200 stukken en stukjes wetenschappelijk onderzoek, gebracht op zodanige manier dat voor een groot publiek duidelijk wordt wat

noeg hebben. De universiteit hoopt echter dat er ook een aantal bezoekers zal komen, die wat verder op de zaken willen ingaan. Vandaar dat er naar wordt gestreefd om een deskundige bemanning bij de stand te hebben. En duidelijke informatie, zodat bijvoorbeeld scholieren die scripties moeten maken, op Mens & Wetenschap al direct de nodige aanknopingspunten kunnen vinden. Voor bezoekers die al thuis zijn in het betreffende onderwerp — leraren en vakgenoten — moet het interessant zijn om te zien hoe wetenschappelijk onderzoek voor een breed publiek wordt neergezet.

Middelpunt van de manifestatie is een gewoon huis, dat echter tweemaal zo groot is als normaal. De bedoeling is om de bezoeker de dagelijkse zaken in een ander

Als de mensen op de twee tekeningen hierboven zo kunnen de bezoekers van 'Mens & Wetenschap' zich voelen wanneer ze door het huis van dubbel-formaat zwerven. Studeren en tandenpoesten lijken onbereikbaar.

gingsgeval te maken hebben. In de stand van het Academisch Ziekenhuis wordt uitgelegd wat er met een vergiftigde patiënt allemaal wordt gedaan.

Om er voor te zorgen dat die bezoekers, zowel bekend met wetenschappelijk onderzoek als onbekend, zich niet snel gaan vervelen of de kluts kwijt raken in de veelheid van wat op ze af komt, is gekozen voor een thematisch verhaal dat de mens volgt tijdens zijn leven vanaf de geboorte tot aan het einde, met alle fasen en confrontaties met de buitenwereld die daartussen liggen.



Drie kleine kleutertjes die zaten op het aanrecht. Bovenop het aanrecht. Deze keuken op tweemaal het normale formaat komt in het grote huis op de tentoonstelling Mens & Wetenschap. Op de foto van links naar rechts: M. Verholt, directeur van het bedrijf Hypsos dat de tentoonstelling bouwt; drs. G.J.P. Rijn- tjes, secretaris van de Utrechtse universiteit en W.P. Waller, hoofd pers en pu- bliciteit van de Jaarbeurs. (Foto 't Sticht BV).

Vijf paviljoens zijn er in dit the- matische verhaal opgenomen. In 'Bronnen' wordt de geboorte ge- toond, maar ook het moderne vruchtbaarheids- en bevruch- tingsonderzoek, naast de onder- werpen voedsel en energie. Ener- gie gaat via de vervuiling over in 'Mens & Milieu' waarover een paviljoen is ingericht. Daar wor- den in het Milieuspookhuis de aantastingen van de natuur ge- toond, terwijl het Rampenpaleis daarnaast 'acts of God' toont, oftewel natuurrampen.

Het paviljoen 'Samen leven' be- handelt de sociale gezondheids- zorg, sport en recreatie, informa- tie en communicatie. Op het Stig- maplein kan de bezoeker zelf er-

varen hoe het is om met een blind- geleidehond te lopen, te wer- ken met een brailleponser of te praten met behulp van een kunst- strottehoofd. Binnen het onder- deel communicatie is het opval- lend hoeveel onderzoek er binnen de letterenfaculteit wordt gedaan om de computer met spraak te kunnen laten omgaan. Bij veel van de onderzoeken wordt van de bezoekers verwacht dat ze actief zullen deelnemen en dat niet al- leen maar door door een micro- scoop naar mooie, maar vaak on- begrijpelijke plaatjes te kijken. Het computergedeelte zal op Mens & Wetenschap bij elkaar staan in het zogenaamde compu- terstraatje, waar de wiskunde-

faculteit bijvoorbeeld toont wat ze doet aan softwareontwikkeling. Tenslotte de paviljoens 'Verken- nen' en 'Vormgeven'. Bij 'Ver- kennen' gaat het om het funda- mentele onderzoek. Vroeger was dat echt helemaal uit nieuwsgie- righeid verricht onderzoek. Te- genwoordig heeft ook dit onder- zoek vaak een doel.

In het paviljoen 'Vormgeven' worden de resultaten in de maat- schappij getoond; een school, een kerk, een rechtbank, een galerij met cellen. In de school komen bijvoorbeeld een aantal onder- zoeken van de Utrechtse universi- teit die te maken hebben met het middelbaar onderwijs.

Tijdens Mens & Wetenschap zul- len een aantal mini-symposia plaatsvinden, maar er zijn ook een aantal grote congressen, die voor een breed publiek geschikt zijn. Op 5 mei is er een groot con- gres over de 'Afweer van het menselijk lichaam' (Immunolo- gie) en eveneens op 5 mei een con- gres van diergeneeskunde onder de titel: 'Moet alles wat kan ook kunnen?' Ethische, maatschap- pelijke en financiële vragen kom- men daarin aan de orde, want de diergeneeskunde is zeker zover als de humane geneeskunde. Op 9 en 10 mei een groot congres over het ruimte-onderzoek en de ruim- tevaart, met internationale des- kundigen... en Wubbo Ockels. Over de samenwerking van uni- versiteiten en bedrijfsleven ten- slotte is een congres onder de titel 'Eureka' waarbij het in feite gaat om een Europees technologiebe- leid.

Tijdens Mens & Wetenschap van 3 tot 11 mei zullen in de Utrechtse Jaarbeurshallen in het grote huis bovendien ook een aantal talk- shows worden gehouden over verschillende onderwerpen. Eén daarvan zal zeker zijn Onderwijs- kunde en de organisatie van het hoger en wetenschappelijk onder- wijs in Nederland. Inlichtingen ☎ 030-532840 of 532850.

Paul Reinshagen
Amsterdam

In het teken van de robot

Werken met automaten blijkt eenzaam werk te zijn. De gezichten van de controleurs of de bedieners van geautomatiseerde machines staan ingespannen of neutraal, maar bijna nooit vrolijk. Dat valt op bij het bekijken van de fototentoonstelling van fotografen Michel Pellanders en René de Wit die tot 7 september in het Amsterdamse Rijksmuseum op de afdeling Nederlandse Geschiedenis te zien is.

In het teken van de robot heet de tentoonstelling. Die vlag dekt de lading niet. De ondertitel *Automatisering in Nederland* past beter, want situaties waar echt robots bij voorkomen zijn nauwelijks gefotografeerd. Onder robots versta ik dan machines die bewegingen uitvoeren na daartoe te zijn geprogrammeerd. De tentoonstelling laat wel de veranderende werkomstandigheden bij geautomatiseerde processen zien. Er zijn foto's genomen in meet- en regelkamers, waar controleurs niets te doen hebben als de machines naar behoren functioneren. Ze hoeven pas in actie te komen wanneer er iets fout gaat. Het werk bestaat in dit geval hoofdzakelijk uit afwachten en

beschikbaar zijn. Als er echter iets moet gebeuren is hun werk vaak wel zo specifiek dat een robot het niet makkelijk zal kunnen.

Daarentegen zijn ook mensen te zien die op een wat wrange manier 'in het teken van de robot' staan: hun werk is overbodig, zodra de volgende versie uit is van de machine die zij bedienen. De patatbakker bij McDonalds in Amsterdam bijvoorbeeld, die alleen de patatten in de olie hoeft te dompelen en ze er weer uit moet halen als de machine aangeeft dat de frituurtijd voorbij is. De verantwoordelijkheid voor mooi gebruinde friten is door het apparaat overgenomen. Het wachten lijkt alleen nog op de machine die na een druk op de knop in een mum van tijd een bakje friten uit een luikje schuift. Ook de man op de hier afgedrukte foto, magazijnbediende bij een Philips-fabriek in Eindhoven heeft nog niets met een robot te maken. Hij bedient een grote magazijnlift. Er zijn al magazijnen waar zijn functie door een robot is overgenomen: daar tikt iemand op een computerterminal wat er uit het magazijn nodig is, een robotlift

haalt het gevraagde daarna op de snelst mogelijke wijze tevoorschijn.

De mensen die het allemaal bedenken, de chipontwerpers, de computerbouwers, de software-schrijvers, de automatiseerders kortom, zien er ook al niet vrolijk uit. De fotografen laten hun vaak steriele en van de buitenwereld afgeschermd werkomgevingen zien. De fotografen schijnen ook nogal moeite te hebben gehad om toegang tot bedrijven te krijgen voor het maken van hun reportage.

De enigen die, blijkens de tentoonstelling, echt lol hebben aan de automatisering zijn gefotografeerde kinderen en oudere dames die op een beurs of tentoonstelling hun hobby beoefenen of voor het eerst een computertoetsenbord aanraken.

De tentoonstelling *In het teken van de robot* is te zien tot 7 september in het Amsterdamse Rijksmuseum. Inlichtingen ☎ 020-732121.

Van een selectie uit de foto's is een boek verschenen bij uitgeverij SUN, Nijmegen: Michel Pellanders, René de Wit, *In het teken van de robot, Automatiseren in Nederland*. ISBN 90 6168 252 5. Prijs f 19,50.

Wim Köhler



Een werknemer van een Philipsfabriek in Eindhoven bedient een magazijnlift. (Foto: Michel Pellanders)

Heide in Limburg

De Limburgse Kempen worden veelal vereenzelvigd met 'heide'. En, alhoewel er de laatste decennia veel heide is verdwenen, is deze relatie toch niet ten onrechte. Heide heeft immers eeuwenlang het Kempische landschap gedomineerd. De keuterboeren leefden van de heide: door het weiden van schapen, plaggen en maaien werd er de levensnoodzakelijke mest gehaald om de vruchtbaarheid van de schrale akkertjes op peil te houden. Het-

geen ons, na een eeuw van industriële ontwikkeling, rest aan heide, is nog steeds de moeite waard. Vooral in augustus en september, als de heide massaal purper kleurt, worden onze natuurgebieden overstelpt door wandelaars. De heide heeft ons echter niet alleen landschappelijke schoonheid te bieden. Flora en fauna zijn er opvallend rijk en gevarieerd. Er zijn de mossen, korstmossen, kruiden, bomen en struiken, die van plaats tot plaats verschillen, of het nu een oever van een ven is, een droge heide of een duin. En het dierenleven hangt samen met de vegetatie.

Gelukkig zijn er in Belgisch Limburg nog een aantal plaatsen waar de typische heideflora en -fauna enigszins kan standhouden: in Westlimburg de vallei van de Zwarte beek en Gerhagen, in Noordlimburg het Hageven en in het Genkse de Maten, de Zonhoverheide en het Heiderbos in As. Vooral op de Oostrand van het Kempisch plateau tussen Lanaken en Maasmechelen liggen enkele van de mooiste heidereservaten van Limburg: de Vallei van de Ziepebeek, de Mechelse heide, Ven onder de Berg. Verschillende van deze gebieden zijn natuurreservaten van internationaal belang, die dank zij een verantwoord beheer in stand worden gehouden. Heide is ook educatief boeiend. Het is een geschikte biotoop om de relatie tussen bodem, plant, dier en mest te bestuderen. Een ideaal milieu dus om aan ecologie te doen.

Het *Provinciaal Natuurcentrum te Rekem* heeft een heideproject opgezet voor scholen, zowel voor het basis- als voor het secundair onderwijs.

Voor het lager onderwijs is een werkboek gemaakt. Aan de hand van opdrachten kunnen de leerlingen waarnemingen doen op de heide. Het Natuurcentrum stelt terreintassen ter beschikking, waarin de nodige materialen zitten. Het werkboek is zo opgezet dat de leraar zelf met de klas de heide intrekt om de opdrachten

uit te voeren. Hij heeft hierbij de keuze tussen twee reservaten: de Vallei van de Ziepebeek (Rekem) of de Mechelse heide (Maasmechelen).

Voor het secundair onderwijs worden de zaken anders aangepakt. Er werden een aantal projecten uitgewerkt waarin de Limburgse heide als landschap vanuit verschillende hoeken wordt bekeken. Zowel geografie, geologie, plant- en dierkunde, ecologie als geschiedenis komen aan bod. De leraar kan, aan de hand van de aangeboden onderwerpen zelf een dagprogramma samenstellen. De dag wordt geleid door een medewerker van het Natuurcentrum. Elk onderwerp omvat een

inleidende diareeks, een heide-wandeling, een terreinoefening en naverwerking. Een greep uit de onderwerpen: geologie van het Kempisch plateau, een geografische verkenning van Kempen en Maasland, heide-vegetaties, vogels van de heide, insecten en studie van een beek.

Deze projecten zijn ook uitgewerkt voor de 'Vallei van de Ziepebeek' en de 'Mechelse heide'. Wie met de klas op deze manier wil kennis maken met de fascinerende wereld van onze heide, kan contact opnemen met het Provinciaal Natuurcentrum Rekem, Populierenlaan 30, 3620 Rekem, ☎ 011/71.44.44. Het project start op 1 mei 1986.

Space '86

Een groot overzicht van alles wat in de ruimtevaart is bereikt toont de manifestatie Space 86 van 3 mei tot 29 juni in de Utrechtse Jaarbeurshallen. Als leidraad voor de aankleding van het gebeuren namen de organisatoren, onder leiding van Chriet Titulaer, de eerste landing op de maan in 1969. Een groot deel van de tentoonstelling vindt plaats in een maanlandschap. Kleinere Nederlandse ondernemingen die een bijdrage leveren op ruimtevaartgebied krijgen een maankrater toegewezen als expositieruimte. Ook zijn er verschillende onderdelen van het al oude Apolloproject op de tentoonstelling aanwezig. Zo zijn er bijvoorbeeld plannen om de Utrechtse Domtoren min of meer om te bouwen tot een Saturnusraket. Die raketten waren ongeveer even lang als de Domtoren en werden gebruikt om de Apollo-capsules in de ruimte te brengen. De ruimtevaartgebeurtenissen van recentere datum krijgen evenveel of meer aandacht. Modellen van de Nederlandse astronomische satellieten ANS en

IRAS zijn aanwezig, met een overzicht van de wetenschappelijke resultaten. Philips biedt de bezoekers in een koepel een blik op de hemel zoals IRAS die zag.

Ook andere bedrijven sponsoren onderdelen van de tentoonstelling. Het softwarebedrijf BSO laat bezoekers een wandeling over het oppervlak van een kometa maken. Natuurlijk met de recente resultaten van Halley in gedachten. De PTT laat zien wat communicatiesatellieten allemaal doen in de tegenwoordige wereld. Tot het spektakel rekenen we de mogelijkheid een maansteen aan te raken waarna een stikker met de tekst 'I have touched the moon' wordt uitgereikt.

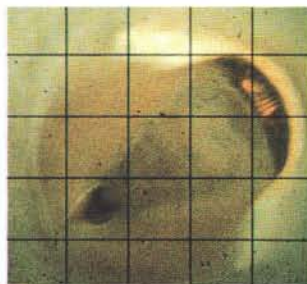
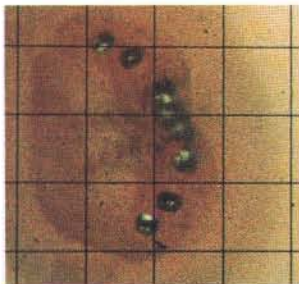
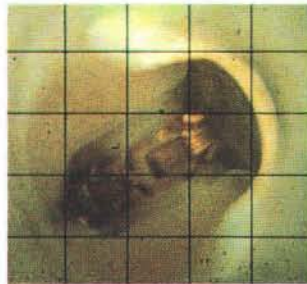
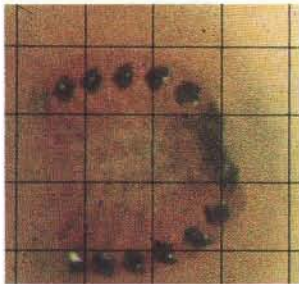
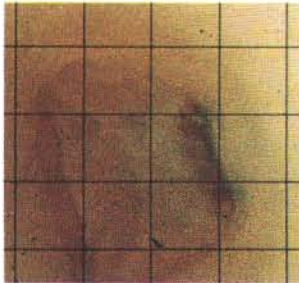
De manifestatie duurt van 3 mei tot 29 juni. Tot en met 11 mei geopend van 10 tot 21 uur, zaterdag en zondag tot 19 uur. Vanaf 12 mei open van 10 tot 17 uur. Toegangsprijzen f 10,- voor volwassenen, f 6,- voor kinderen tot 12 jaar. Groepen van meer dan 16 personen kunnen voor de kinderprijs naar binnen. Inl. Jaarbeurs Utrecht, ☎ 030-955560.

Rectificatie

Bij een cruciale afbeelding in het artikel over biobaggers (pag. 82-97, febr. '86) plaatste de redactie een verkeerd illustratiebij-schrift. Op pagina 94 en 95 stond een serie van vijf foto's met de schraapcyclus van een zeeslak. *Chiton olivaceus* stond in het bij-schrift. Dat moest zijn: *Patella caerulea*, een andere zeeslak die in het artikel uitgebreid aan de orde kwam, en ook een bekwaam biobaggeraar is.

Drie foto's uit die serie drukken we hier nog eens af. Om ook te laten zien dat *Chiton olivaceus* een zeeslak is waar baggers iets van kunnen leren hierbij als-nog drie foto's van de tanden-riem-in-actie van de *Chiton*. Op pag. 94-95 staat ook een foto van een *Chiton olivaceus*. In het bij-schrift staat dat op zijn rug-schildjes zeepokken groeien. Op de foto zitten echter koker-wormen op de *Chiton*.

Opnamen uit de raspcycli van twee zeeslakken met een tandenriem waarmee ze de bodem bewerken op zoek naar voedsel. De slakken 'grazen' op een glasplaat en zijn van onder gefotografeerd. Links *Chiton olivaceus*, rechts *Patella caerulea*.



NATUUR en TECHNIEK verschijnt maandelijks, uitgegeven door de Centrale Uitgeverij en Adviesbureau B.V. te Maastricht.

Redactie en Administratie zijn te bereiken op:

Voor Nederland:

Postbus 415, 6200 AK Maastricht.

Telefoon: 043-254044*.

Voor België:

Tervurenlaan 32, 1040-Brussel.

Telefoon: 00-3143254044.

Bezoekadres:

Stokstraat 24, Maastricht.

Advertentie-exploitatie:

D. Weijer. Tel. 05987-23065.

De Centrale Uitgeverij is ook uitgever van de Cahiers van de Stichting Bio-Wetenschappen en Maatschappij.

Abonnees op Natuur en Techniek of studenten kunnen zich abonneren op deze cahiers (4 x per jaar) voor de gereduceerde prijs van f 30,- of 450 F.

Abonnementsprijs (12 nummers per jaar, incl. porto):

Voor Nederland, resp. België:

f 97,50 of 1875 F.

Prijs voor studenten: f 75,- of 1450 F.

Overige landen: + f 35,- extra porto (zeepost) of + f 45,- tot f 120,- (luchtpost).

Losse nummers: f 8,45 of 160 F (excl. verzendkosten).

Abonnementen op NATUUR en TECHNIEK kunnen ingaan per 1 januari of per 1 juli, (eventueel met terugwerkende kracht) doch worden dan afgesloten tot het einde van het lopende abonnementsjaar.

Zonder schriftelijke opzegging vóór het einde van elk kalenderjaar, wordt een abonnement automatisch verlengd voor de volgende jaargang. TUSSENTIJDEN kunnen geen abonnementen worden geannuleerd.

Postrekeningen:

Voor Nederland: nr. 1062000 t.n.v.

Natuur en Techniek te Maastricht.

Voor België: nr. 000-0157074-31

t.n.v. Natuur en Techniek te Brussel.

Bankrelaties:

Voor Nederland: AMRO-Bank N.V. te

Heerlen, nr. 44.82.00.015.

Voor België: Kredietbank Brussel,

nr. 437.6140651-07.

Het perpetuum mobile

Met de woorden: „... daarom zal, ondanks alles, de jacht naar het perpetuum mobile een perpetuum mobile blijken te zijn!” heb ik mijn artikel over dit onderwerp in „Natuur en Techniek” van Augustus 1935 beëindigd en nu komt zoo juist een brief van een lezer, die mij door bemiddeling van de Redactie gewerd, mijn stelling nog eens te meer bewijzen.

De geachte lezer heeft het volgende perpetuum mobile bedacht. Binnen de polen van een hoefmagneet (figuur 1) bevindt zich een staafmagneet, die vrij draaibaar om een as A, loodrecht op het vlak van teekening, is opgesteld. Een ijzeren ring kan tusschen de magneten geplaatst worden, zooals in de figuur is aangegeven. Bevinden gelijknamige polen van staaf- en hoefmagneet zich tegenover elkaar, dan wordt de ijzeren ring weggenomen. De polen stooten elkaar af, de staafmagneet gaat draaien. Is deze doorgedraaid dat de ongelijknamige polen tegenover elkaar komen te liggen, dan wordt de ring weer om de staafmagneet geplaatst. Deze ring schermt het magnetische veld van de hoefmagneet af, zoodat de staafmagneet kan doordraaien tot hij zijn oorspronkelijken stand weer inneemt.

Op dat oogenblik wordt de ring weer weggenomen en zoo voorts.

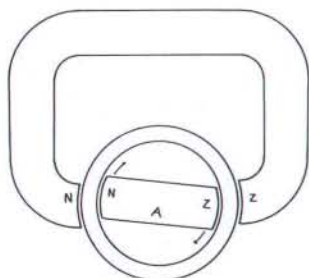


Fig. 1. Staafmagneet die binnen de polen van een hoefmagneet is geplaatst.

Tot zoover onze uitvinder. In dit geval is het gelukkig nog eenvoudiger, de gemaakte fout aan te geven. Het is namelijk in het geheel niet algemeen juist, dat een ijzeren ring een uitwendig magneetveld afschermt. Zoodra zich ijzer binnen de ring bevindt gaat deze stelling niet meer altijd op. Ter verduidelijking mogen de detailfiguren twee en drie dienen. In figuur twee is het gedeelte van den ring geteekend tusschen twee gelijknamigen noord-polen. Nu wordt inderdaad het uitwendige magneetveld afgeschermd, zooals uit het verloop der magnetische krachtlijnen blijkt. Bevinden zich echter ongelijknamige polen ter weerszijden van den ring (figuur 3), dan ondervindt de staafmagneet de volle werking van het veld van den hoefmagneet; de krachtlijnen gaan nu recht door het ijzer van den ring heen! En daarmee sturen zij dus de gemaakte plannen totaal in de war! Juist op het oogenblik, dat de ring om de staafmagneet geplaatst wordt, heeft deze geen invloed meer op het veld van den hoefmagneet.

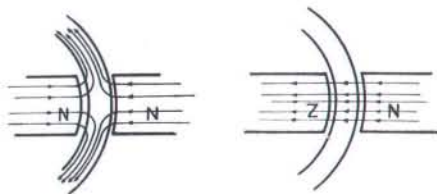


Fig. 2. Zoo is het uitwendige magneetveld afgeschermd.

Fig. Fig. 3. ... doch zóó niet!

Tot slot mag ik een goeden raad aan alle uitvinders op dit gebied geven: Maak een eenvoudig model van Uw perpetuum mobile en probeer of dit werkzaam is. Is dit niet het geval, besteed dan Uw tijd aan andere problemen. Er zijn nog duizenden vraagstukken die op een elegante oplossing liggen te wachten! Deze methode bespaart U tijd, moeite, geld en ... ergernis.

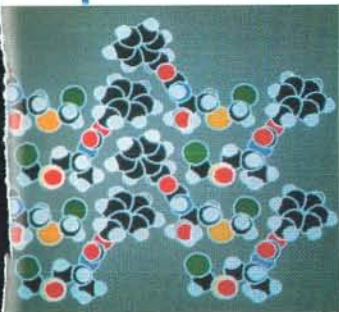
VOLGENDE MAAND IN NATUUR EN TECHNIEK

Kwantum farmacologie

Er is nog relatief weinig bekend over de verdeling van elektronen en energieën rond gecompliceerde moleculen. Niettemin wordt deze kennis toegepast bij het ontwerpen van nieuwe geneesmiddelen. Dr. W.G. Richards vertelt hoe dat in zijn werk gaat.

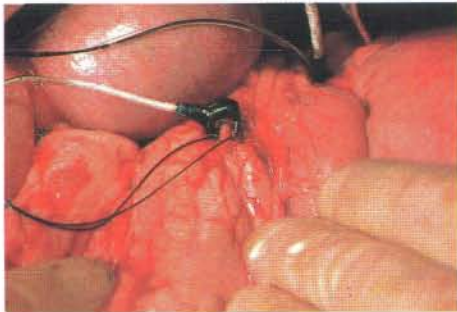
Piramidenbouw

Wie ooit een piramide zag, heeft zich onmiddellijk afgevraagd hoe men die zonder lopende banden en hijskranen heeft kunnen bouwen. Veel onderzoekers hebben zich met deze vraag bezig gehouden. Prof. dr. ir. A. Wegener Sleswyk heeft een hypothese.



Aquacultuur

Vis wordt als voedingsmiddel steeds belangrijker. In de afgelopen jaren wordt dan ook het nodige in het werk gesteld om vis te telen alsof het aardappels zijn, op speciale visboerderijen. Dr. J. Muir is in Schotland al jaren bij dergelijk onderzoek betrokken en legt uit wat er allemaal bij komt kijken.



Bloeddruk en doorbloeding

Een hardloper heeft een goede bloedtoevoer naar de beenspieren nodig. Een gastrostoom is gebaat bij een goede doorbloeding van het maagdarmkanaal. Om de bloedtoevoer naar die organen te garanderen, is een zekere bloeddruk nodig. Maar die mag ook niet te hoog zijn. Prof. dr. G.A. Charbon en C.J. van der Grond over onze bloedsomloop.



Vloeibare kristallen

Het lijkt onmogelijk, maar ze bestaan echt. Ze zijn zelfs zeer vertrouwd. De helft van de mensen in Nederland en België vindt het antwoord op de vraag hoe laat het is, op een Liquid Cristal Display. Maar dat is niet de enige toepassing. Prof. dr. G. Vertogen en dr. H.A. van Sprang gaan in op de theorie en de praktijk van deze wonderlijke materie.

Drs. R. Lauwerier doet verslag van opgravingen in de buurt van Nijmegen. In het begin van onze jaartelling was daar een groot Romeins legioen gelegerd. Analyse van de vondsten maakt het mogelijk na te gaan wat in die dagen de pot schafte en wat men wanneer lekker vond. Een smakelijk artikel.

De vleespotten van Rome



IK ZOU WEL EENS WILLEN WETEN...

MENS &
WETENSCHAP

3-11 MEI



JAARBEURS
UTRECHT/HOLLAND

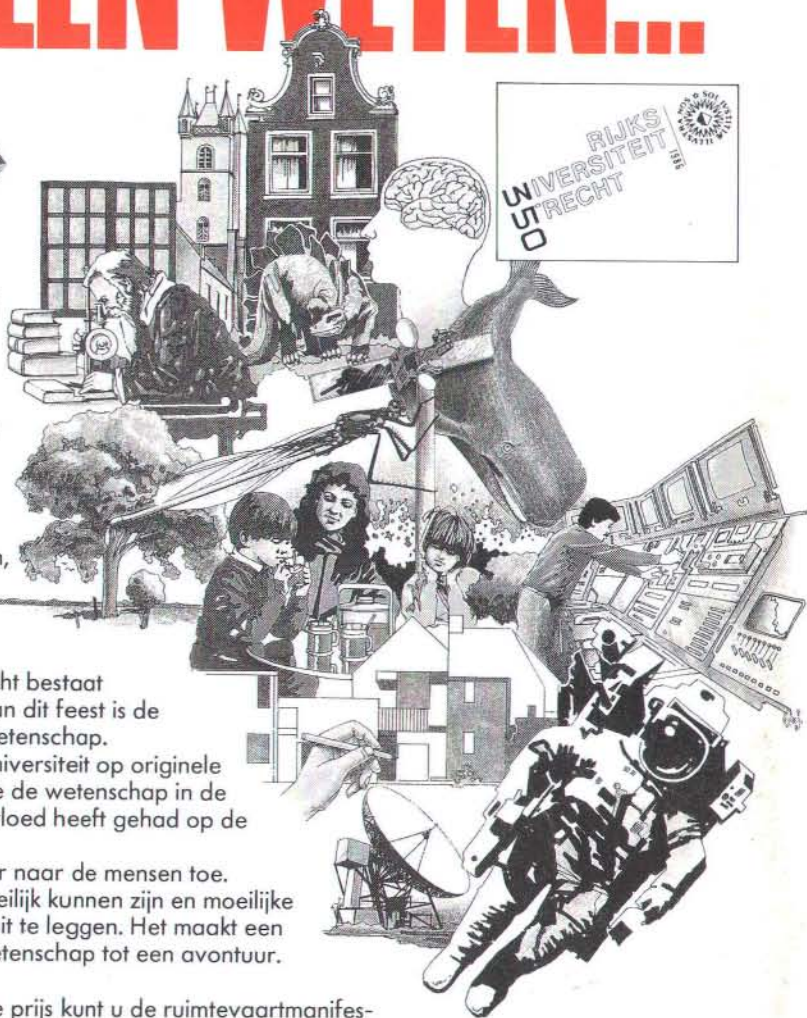
Een spektakel dat zijn weerga niet kent. Wetenschappelijk "moeilijke" onderwerpen, aanschouwelijk en duidelijk gemaakt voor iedereen.

De Rijksuniversiteit Utrecht bestaat 350 jaar. Hoogtepunt van dit feest is de manifestatie Mens en Wetenschap. Hier demonstreert de Universiteit op originele en indringende wijze hoe de wetenschap in de loop der eeuwen zijn invloed heeft gehad op de dagelijkse dingen.

De wetenschap komt hier naar de mensen toe. Hoe gewone dingen moeilijk kunnen zijn en moeilijke dingen gemakkelijk zijn uit te leggen. Het maakt een bezoek aan Mens en Wetenschap tot een avontuur.

Tegelijk en voor dezelfde prijs kunt u de ruimtevaartmanifestatie SPACE '86 bezoeken.

**...EEN ONVERGETELIJKE DAG UIT
IN EEN WONDERE WERELD!**



Vraag op de
NS-stations naar de
voordelige Trein +
Toegangsbiljetten.

Jaarbeurs Utrecht,
postbus 8500,
3503 RM Utrecht,
telefoon 030-955911